

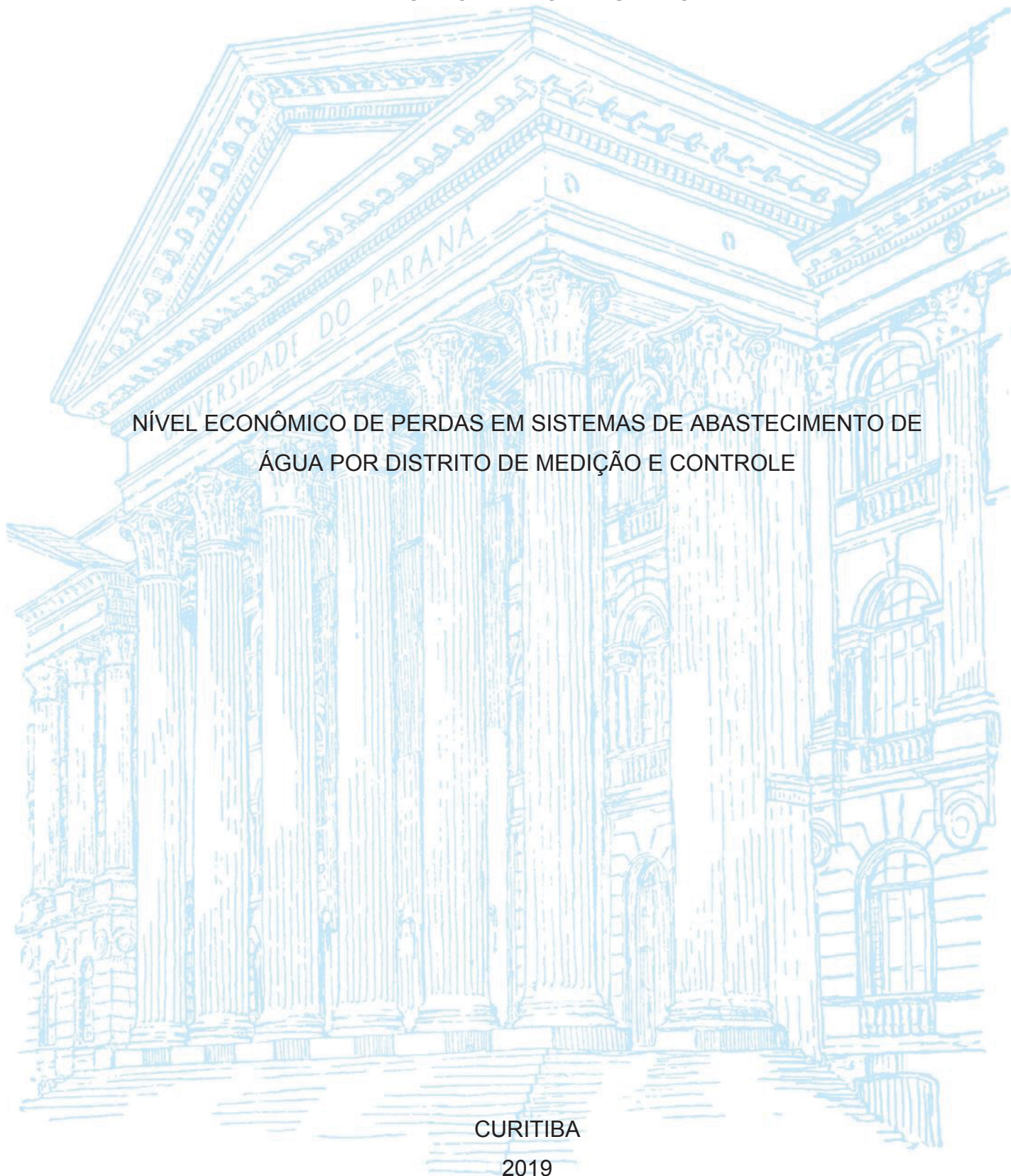
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANNA CAROLINA BONILauri MOLL

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE  
ÁGUA POR DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE

CURITIBA

2019



ANNA CAROLINA BONILAURI MOLL

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE  
ÁGUA POR DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Selma Aparecida Cubas

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M726n

Moll, Anna Carolina Bonilauri

Nível econômico de perdas em sistemas de abastecimento de água por distrito de medição e controle / Anna Carolina Bonilauri Moll. – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2019.

Orientador: Selma Aparecida Cubas.

1. Abastecimento de água. 2. Balanço hidrológico. 3. Saneamento. I. Universidade Federal do Paraná. II. Cubas, Selma Aparecida. III. Título.

CDD: 627

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

## TERMO DE APROVAÇÃO

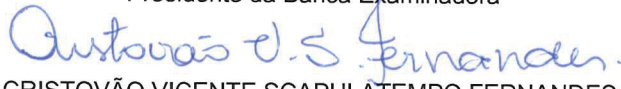
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANNA CAROLINA BONILAURI MOLL**, intitulada: **NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 26 de Abril de 2019.

  
SELMA APARECIDA CUBAS

Presidente da Banca Examinadora

  
CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES

Avaliador Interno (UFPR)

  
STELLA MARIS DA CRUZ BEZERRA

Avaliador Externo (UTFPR)

  
RAMIRO GONCALVES ETCHEPARE

Avaliador Interno (UFPR)



Para o meu grande amor,  
Guilherme.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu marido, Guilherme, que me auxiliou em momentos que mais precisei. Agradeço seu carinho e amor dedicados a nós e sua compreensão dos momentos abdicados ao seu lado para conclusão desta dissertação. Você é meu porto seguro.

Agradeço aos meus familiares, pelas descontrações proporcionadas, pelo incentivo e apoio durante esta jornada. Em especial, em memória do meu querido avô, Angelo Bonilauri, que sempre foi e será meu grande referencial e nunca deixou de acreditar na minha capacidade. Sinto sua falta.

Agradeço aos meus grandes amigos que caminharam comigo antes e durante o mestrado, por todos os momentos de estudo, brincadeiras e cumplicidade proporcionados. Vocês estão no meu coração.

Agradeço à professora Selma, minha orientadora, pelas contribuições técnicas e acadêmicas que aprimoraram este trabalho.

Agradeço a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pela disponibilização dos dados. Em especial agradeço ao engenheiro Marcelo Depexe, pelas proveitosas discussões técnicas nas quais muito aprendi.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), pela oportunidade de elaboração deste trabalho e agradeço a todos os professores do programa, pelo conhecimento transferido.

Agradeço também a CAPES, pelo apoio para a elaboração desta dissertação.

Finalmente, agradeço a Deus, por me proporcionar tantas realizações. Agradeço por tudo que eu tenho e conquistei até hoje.

"Não desejo que me livre de todos os perigos, mas que me dê valentia para enfrentar todos eles. Não peço que minha dor seja eliminada, mas coragem para dominá-la. Não procuro aliados no campo de batalha da vida, mas forças em mim mesmo. Não imploro, com temor ansioso, para ser salvo, mas peço esperança para ir conquistando, com paciência, minha própria liberdade".

Rabindranath Tagore

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o nível econômico de perdas nos distritos de medição e controle (DMCs) pertencentes ao Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), que é de concessão da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. A metodologia da pesquisa foi dividida em quatro etapas: na etapa preliminar foi feita a seleção e levantamento de dados referentes ao período de Janeiro a Dezembro de 2017 para delimitação da área de estudo; na etapa 1 foram determinadas e avaliadas as perdas reais e aparentes por meio do método do balanço hídrico da *International Water Association* (IWA) e aplicados indicadores e índices de avaliação; na etapa 2 se determinou o nível econômico das perdas reais pelo modelo de Wyatt (2010) e o nível econômico das perdas aparentes pela diretriz de troca de hidrômetro; na etapa 3 foi proposto um modelo simplificado, que integra os aspectos relacionados às perdas de 2017 aos econômicos, utilizando como base os resultados das etapas 1 e 2. Foram selecionados 92 DMCs (84% do SAIC) para avaliação, considerando a disponibilidade de informações ininterrupta dos 12 meses do ano de 2017, sendo que o valor total para as perdas reais foi de 2.577 L/s (78% das perdas totais) o que se aproxima da capacidade de dois sistemas produtores do SAIC, aproximadamente. Avaliando as perdas reais nos diferentes DMCs, observou-se a complexidade do sistema de abastecimento de água (SAA) formado pelo SAIC, em função das diferentes características dos DMCs, incluindo extensão de rede, pressão e número de ligações. Os valores do Indicador de Perdas reais por Ligação (IPLr 2017) variaram entre 56,1 L/ligação.dia a 1.480,8 L/ligação.dia, e os valores de Índice de Vazamento da Infraestrutura (IVI 2017) variou entre 2,3 a 27,7. Quanto ao Indicador de Perda Aparente por Ligação (IPLa 2017) obteve-se valores entre 7,5 L/ligação.dia a 550,9 L/ligação.dia, sendo identificadas as áreas em que as perdas aparentes são próximas ou superiores as perdas reais, cuja ação pode ser imediata e menos complexa. Para o cenário econômico, observou-se que há um potencial de redução considerável, uma vez que o IPLr econômico variou entre 49,8 L/ligação.dia a 736,1 L/ligação.dia, e o IVI econômico obtido foi entre 1,9 a 9,5. Quando se avaliou o IPLa econômico, os valores foram de 7,5 L/ligação.dia a 505,6 L/ligação.dia, muito próximo aos observados no ano de 2017, uma vez que corresponde apenas a troca periódica de hidrômetros, já estabelecido nas diretrizes de troca da companhia. Destaca-se, também, que as perdas relacionadas ao nível econômico devem ser inseridas como um dos cenários dos Planos Diretores de Água, sendo uma ferramenta de planejamento quanto à estimativa do volume de ampliação do sistema produtor e para estabelecer estratégias de gestão de perdas em SAA, principalmente para o SAIC. Por fim, foi proposto um modelo simplificado que permitiu avaliar o sistema sob uma perspectiva global e integrando aspectos das condições atuais do sistema aos aspectos econômicos.

**Palavras-chave:** Sistemas de Abastecimento de Água. Perdas de água. Nível econômico de perdas. Balanço Hídrico. Indicadores e Índices de avaliação de perdas.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the economic level of losses in the district metering areas (DMAs) of the Integrated Supply System of Curitiba and Metropolitan Region (SAIC), which is managed by the *Companhia de Saneamento do Paraná* - SANEPAR. The methodology of the research was divided in four stages: in the preliminary stage the selection and data collection related to the period from January to December of 2017; in stage 1, the actual and apparent losses were determined and evaluated using the International Water Association (IWA) water balance and indicators and indexes were applied; step 2 determined the economic level of the real losses by the model of Wyatt (2010) and the economic level of the apparent losses by the hydrometer change guideline; a simplified model was proposed in step 3, which integrates the aspects related to the existing losses to the economic ones, based on the results of steps 1 and 2. 92 DMAs were selected (84% of the SAIC) for evaluation, considering the availability of information at 12 months of 2017, the total value for 2017 losses was 2,577 L/s (78% of total losses), which refers to the capacity of approximately two SAIC producing systems. When evaluating the actual losses in different DMAs, we were able to observe the complexity of SAIC's Water Supply System (WSS), depending on the different characteristics of the DMAs, including network extension, pressure and number of connections. The actual loss per connection (IPLr 2017) values ranged from 56.1 L/connection.day to 1,480.8 L/connection.day, and the Infrastructure Leakage Index (IVI 2017) ranged from 2.3 to 27.7. Regarding the apparent loss per connection (IPLa 2017), values ranging from 7.5 L/connection.day to 550.9 L/connection.day, with areas where apparent losses are close to or greater than real losses, whose action may be immediate and less complex. For the economic scenario, there is a considerable reduction potential, since the economic IPLr ranged from 49.8 L/connection.day to 736.1 L/connection.day, and the economic IVI obtained was between 1.9 to 9.5. When the economic IPLa was evaluated, the values were 7.5 L/connection.day to 505.6 L/connection.day, very close to those observed in 2017, since it only corresponds to the periodic exchange of hydrometers, already established in the company's guidelines. It should also be noted that the losses related to the economic level should be included as one of the scenarios of the Water Master Plans, being a planning tool in estimating the volume of expansion of the producer system and establishing strategies for losses management in WSS, mainly for SAIC. Finally, a simplified model was proposed that allowed evaluating the system from a global perspective and integrating aspects of the current conditions of the system to the economic ones.

**Keywords:** Economic level of losses. Economic loss. Water balance. Losses in Water Supply Systems. Water Supply Systems.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIVISÃO DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS NO BRASIL.....	21
FIGURA 2 – BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....	21
FIGURA 3 – DELIMITAÇÕES DAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ...	22
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DE SAA.....	23
FIGURA 5 - ESQUEMA DE SISTEMA MUNICIPAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	26
FIGURA 6 - CATEGORIAS DE DMCs .....	27
FIGURA 7 - INDICADOR DE PERDAS NOS SAAs SEGUNDO CAPITAL DE ESTADO E MÉDIA DO BRASIL.....	30
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE PERDAS EM SAA.....	32
FIGURA 9 - ORIGEM E MAGNITUDE DE PERDAS REAIS POR COMPONENTE DO SAA .....	34
FIGURA 10 – MÉTODOS PARA DECOMPOSIÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SAA .....	36
FIGURA 11 - MÉTODO DAS VAZÕES MÍNIMAS NOTURNAS.....	42
FIGURA 12 - COMPONENTES DO CONTROLE DE PERDAS REAIS .....	52
FIGURA 13 - SÍNTESE DAS AÇÕES PARA O CONTROLE E A REDUÇÃO DE PERDAS REAIS.....	57
FIGURA 14 - CONTROLE DE PERDAS APARENTES .....	58
FIGURA 15 - CURVA DE DESEMPENHO PARA HIDRÔMETROS .....	60
FIGURA 16 - HIDRÔMETRO COM O DISCO INDICADOR DE VOLUME FRAUDADO .....	62
FIGURA 17 - HIDRÔMETRO FRAUDADO POR <i>BY-PASS</i> .....	62
FIGURA 18 - SÍNTESE DAS AÇÕES PARA O CONTROLE E A REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES.....	63
FIGURA 19 – ESQUEMATIZAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO ....	65
FIGURA 20 – MODELO DE WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO.....	67
FIGURA 21 – MODELO DE WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES.....	68
FIGURA 22 – CENÁRIO HIPOTÉTICO COMPARATIVO ENTRE OS NÍVEIS ECONÔMICOS DE VAZAMENTO DA CORÉIA DO SUL E AUSTRÁLIA .....	77
FIGURA 23 - ORGANOGRAMA DAS ETAPAS DA PESQUISA .....	81

FIGURA 24 – ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAIC EM RELAÇÃO A RMC.....	82
FIGURA 25 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO E RESERVAÇÃO DO SAIC – SANEPAR .....	84
FIGURA 26 – ÁREA DOS DMCs DO SAIC AVALIADOS E NÃO AVALIADOS .....	85
FIGURA 27 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS DO SISTEMA SAIC .....	90
FIGURA 28 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES NO DMC .....	90
FIGURA 29 - CURVA DE DESEMPENHO PARA HIDRÔMETROS UTILIZADA PARA A DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SUBMEDIÇÃO.....	91
FIGURA 30 – ESQUEMA PARA A DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS .....	95
FIGURA 31 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SUBMEDIÇÃO ECONÔMICA PARA DEZEMBRO DE 2017 .....	100
FIGURA 32 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES .....	101
FIGURA 33 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS ECONÔMICAS E DO VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO.....	103
FIGURA 34 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO O IVI EXISTENTE E EXTENSÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO POR LIGAÇÃO .....	105
FIGURA 35 - VOLUME AUTORIZADO TOTAL, PERDA TOTAL, PERDA REAL E PERDA APARENTE DO SAIC EM 2017.....	111
FIGURA 36 – PERDAS REAIS E APARENTES EM VALORES PERCENTUAIS DA PERDA TOTAL .....	113
FIGURA 37 – INDICADOR DE PERDA REAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs DO SAIC .....	116
FIGURA 38 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO EM DIVERSOS PAÍSES .....	118
FIGURA 39 – ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA EM DIVERSOS PAÍSES .....	120
FIGURA 40 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA DOS DMCs DO SAIC SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005) .....	121

FIGURA 41 – DMCS DO SAIC CATEGORIZADOS SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005) .....	122
FIGURA 42 – INTERVENÇÕES NO SISTEMA PRODUTOR SEGUNDO O PLANO DIRETOR DE ÁGUA DO SAIC (SANEPAR, 2013) .....	124
FIGURA 43 – INDICADOR DE PERDA APARENTE POR LIGAÇÃO DOS DMCs DO SAIC .....	128
FIGURA 44 – RELAÇÃO ENTRE VOLUME DE FRAUDES E LIGAÇÕES CLANDESTINAS E VOLUME SUBMEDIÇÃO DE HIDRÔMETROS NO SAIC .....	129
FIGURA 45 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO ECONÔMICO EM DIVERSOS PAÍSES .....	132
FIGURA 46 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO 2017 (IPLr 2017) E ECONÔMICO (IPLr econômico) .....	136
FIGURA 47 – RESULTADOS DO RETORNO <sub>R</sub> DO SAIC POR DMC .....	140
FIGURA 48 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO <sub>R</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS PARA OS DMCs DO SAIC .....	142
FIGURA 49 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO <sub>R</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS DO SAIC .....	143
FIGURA 50 – CATEGORIZAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA 2017 E ECONÔMICO DOS DMCs DO SAIC SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005) .....	146
FIGURA 51 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICO EM DIVERSAS LOCALIDADES .....	150
FIGURA 52 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO 2017 (IPLa 2017) E ECONÔMICO (IPLa econômico) .....	151
FIGURA 53 – RESULTADOS DO RETORNO <sub>A</sub> DO SAIC POR DMC .....	155
FIGURA 54 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO <sub>A</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES PARA OS DMCs DO SAIC .....	156
FIGURA 55 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO <sub>A</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES DO SAIC .....	157
FIGURA 56 - BALANÇO HÍDRICO DO SAIC PARA O NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS REAIS E APARENTES E PARA 2017 .....	160
FIGURA 57 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO O IVI 2017 E EXTENSÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO POR LIGAÇÃO DO SAIC .....	167

FIGURA 58 – ÁREAS DE OCUPAÇÃO IRREGULAR EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.....	169
FIGURA 59 – REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS.....	172
FIGURA 60 – CUSTO ANUAL DE CONTROLE DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO E CUSTO ANUAL VARIÁVEL DE PRODUÇÃO POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0 .....	174
FIGURA 61 – CUSTO TOTAL ANUAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0.....	174
FIGURA 62 – CUSTO ANUAL DE CONTROLE DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO E CUSTO ANUAL VARIÁVEL DE PRODUÇÃO POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0 .....	175
FIGURA 63 – CUSTO TOTAL ANUAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0.....	176
FIGURA 64 – REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (EXCETO DMCs 1, 3 e 4).....	176
FIGURA 65 – COMPARAÇÃO ENTRE REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS DOS 92 DMCs DO SAIC A CINCO AMOSTRAS COM 46 DMCs SELECIONADOS ALEATORIAMENTE .....	177
FIGURA 66 – COMPARAÇÃO ENTRE REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS DOS 92 DMCs DO SAIC A CINCO AMOSTRAS COM 23 DMCs SELECIONADOS ALEATORIAMENTE .....	178

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 – APLICAÇÕES DO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO .....	38
TABELA 2 – VALORES DE PERDAS REAIS INEVITÁVEIS NA DÉCADA DE 70 E 80 .....	64
TABELA 3 – RESUMO DE ALGUMAS PESQUISAS REALIZADAS ACERCA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SAA .....	75
TABELA 4 - DIRETRIZ DE TROCA DE HIDRÔMETRO DA SANEPAR .....	100
TABELA 5 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO E IVI 2017 .....	106
TABELA 6 - VOLUMES AUTORIZADOS TOTAIS, PERDAS TOTAIS, PERDAS REAIS E PERDAS APARENTES DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC EM 2017 .....	108
TABELA 7 - INDICADORES DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO DOS DMCS SELECIONADOS DO SAIC .....	114
TABELA 8 – ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA DOS DMCS SELECIONADOS DO SAIC NO ANO DE 2017 .....	119
TABELA 9 – INTERVENÇÕES PREVISTAS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013).....	125
TABELA 10 – INTERVENÇÕES EM ANDAMENTO OU FUTURAS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013) E BECHER (2019)..	126
TABELA 11 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES DO SAIC PARA O ANO DE 2017 .....	127
TABELA 12 - DIRETRIZ DE TROCA DE HIDRÔMETRO DA SANEPAR .....	129
TABELA 13 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO ECONÔMICO E DE 2017 DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC.....	131
TABELA 14 – ULTIMAS DEZ POSIÇÕES DO RANKING GLOBAL DO ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DE PAÍSES.....	133
TABELA 15 – ECONOMIA <sub>R</sub> , INVESTIMENTO <sub>R</sub> E RETORNO <sub>R</sub> DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC .....	138
TABELA 16 - VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA ECONÔMICO DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC .....	144
TABELA 17 - INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICA E DE 2017 DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC .....	147



TABELA 18 – ECONOMIA A, INVESTIMENTO A E RETORNO A DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC .....	153
TABELA 19 - VOLUMES AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO, PERDA TOTAL ECONÔMICA, PERDAS REAIS ECONÔMICA E PERDAS APARENTES ECONÔMICA DO SAIC .....	158
TABELA 20 – COMPARATIVO ENTRE AS INTERVENÇÕES E INVESTIMENTOS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013) E OS RESULTADOS OBTIDOS NESTA DISSERTAÇÃO .....	162
TABELA 21 – DADOS DE ENTRADA PARA A TABELA RESUMO DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO.....	164
TABELA 22 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO E IVI 2017 .....	168
TABELA 23 – DADOS DE ENTRADA PARA A PREVISÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO PARA O SAIC DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO .....	170
TABELA 24 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0 .....	173
TABELA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0 .....	175
QUADRO 1 – MATRIZ DO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO PARA PERDAS DE ÁGUA EM SAA.....	37
QUADRO 2 – RELAÇÃO DE ALGUNS SOFTWARES PARA CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO .....	39
QUADRO 3 – MODIFICAÇÕES PROPOSTAS POR MCKENZIE, SEAGO E LIEMBERGER (2007) E KANAKOUDIS E TSITSIFLI (2010) PARA BALANÇO HÍDRICO DE PERDAS DE ÁGUA .....	40
QUADRO 4 - CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO DO SAA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI) .....	48
QUADRO 5 - PROPOSTAS PARA MELHORIA DO SAA SEGUNDO LAMBERT (TRADUÇÃO LIVRE) .....	48
QUADRO 6 - APLICAÇÕES DO INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO (IPLr), ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI) E INDICADOR DE PERDAS POR EXTENSÃO (IPE) .....	51

QUADRO 7 - EQUAÇÕES PROPOSTAS POR WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO .....	69
QUADRO 8 - SÍNTESE DOS CONCEITOS MAIS RELEVANTES DA REVISÃO DA LITERATURA .....	79
QUADRO 9 - DADOS DE ENTRADA, DESCRIÇÃO DO DADO E ORIGEM DA INFORMAÇÃO .....	86
QUADRO 10 – MATRIZ DO BALANÇO HÍDRICO DE PERDAS DE ÁGUA ADAPTADA DA IWA UTILIZADA NA PESQUISA.....	89
QUADRO 11 - RESUMO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PERDAS PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO ADAPTADO DA IWA (2017) .....	91
QUADRO 12 - DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NOS DMCs DO SAIC .....	93
QUADRO 13 - CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO DO SAA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI) PARA PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO .....	94
QUADRO 14 - VARIÁVEIS CONSTANTES UTILIZADAS PARA DETERMINAR O NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS DO SAIC – SANEPAR SEGUNDO WYATT (2010).....	95
QUADRO 15 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CONTROLE DE PERDAS REAIS, DO CUSTO DE CAPITAL PARA AUMENTO DE CAPACIDADE E DO CUSTO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA, ADAPTADA DE WYATT (2010) .....	97
QUADRO 16 - RESUMO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS ECONÔMICAS E O VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO .....	104
QUADRO 17 - ÍNDICE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.....	163

## LISTA DE SÍMBOLO, NOMENCLATURA E ABREVIações

% -	Porcentagem
AAB -	Adutora de Água Bruta
AAT -	Adutora de Água Tratada
ANA -	Agência Nacional das Águas
AWWA -	<i>American Water Works Association</i>
b -	Fator de economia de escala
BABE -	<i>Background and Bursts Estimates</i>
BDI -	Benefícios e Despesas Indiretas
c -	consumo per capita
CA -	Consumo Autorizado
CAF -	Consumo Autorizado Faturado
CANF -	Consumo Autorizado Não Faturado
Cc -	Custo do capital para aumento da capacidade
CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C <sub>pesq</sub> -	Preço da pesquisa de vazamentos
C <sub>pl</sub> -	custo anual de perdas reais
C <sub>ra</sub> -	Preço do conserto de ramal
C <sub>re</sub> -	Preço do conserto de rede
CRF -	Fator de recuperação de capital
Cv -	Custo anual da produção de água
C <sub>w</sub> -	custo variável de produção (energia elétrica e produto químico)
D -	Extensão da rede de distribuição por ligação
DMC -	Distrito de Medição e Controle
E -	Relação entre capacidade de produção e consumo micromedido
EE -	Estação Elevatória de água
EEB -	Estação Elevatória de água Bruta
EET -	Estação Elevatória de Água Tratada
ELL -	<i>Economic Leakage Level</i>
ETA -	Estação de Tratamento de Água
ETA -	Estação de Tratamento de Água
FAVAD -	<i>Fixed and Variable Area Discharges</i>
G -	Taxa de crescimento populacional

IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET -	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities</i>
IDM -	Indicador de Desempenho de Medição
ILI -	<i>Infrastructure Leakage Index</i>
IP -	Indicador Percentual
IPE -	Indicador de Perdas por Extensão de rede
IPL -	Indicador de Perdas por Ligação
IPLa -	Indicador de Perdas aparentes por Ligação
IPLr -	Indicador de Perdas reais por Ligação
IPLt -	Indicador de Perdas totais por Ligação
IVI -	Índice de Vazamentos da Infraestrutura
IWA -	<i>International Water Association</i>
k -	Coeficiente de custo de capital para a expansão do projeto
km -	quilômetros
kPa -	quilopascal
L -	litros
Lm -	extensão da rede de distribuição
Lp -	comprimento médio dos ramais
mca -	metros de coluna de água
MNF -	Minimum Night Flow
N -	Número de ligações
NRW -	<i>Non-Revenue Water</i>
N1 -	coeficiente de vazamentos
P -	Pressão média na rede de distribuição
p -	Número de consumidores por ligação
PA -	Perda Aparente
PAE -	Perda Aparente econômica
PR -	Perda Real
PRE -	volume de perdas reais correspondente ao nível econômico de vazamento
PRI -	Perda Real anual Inevitável
PRS -	Potencial de recuperação do volume submedido
PSED -	Porcentagem da submedição econômica para determinado mês
PT -	Perda total

PTE -	Perdas totais econômicas
r -	Taxa de juros anuais
RDA -	Rede de Distribuição de Água
RMC -	Região Metropolitana de Curitiba
SAA -	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP -	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAIC -	Sistema de Abastecimento Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana
SANEPAR -	Companhia de Saneamento do Paraná
SE -	Volume da submedição econômica no ano
SNIS -	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VAT -	Volume autorizado total
VATE -	Volume autorizado total econômico
VE -	Volume de entrada no sistema
VF -	Volume não autorizado (fraudes e ligações clandestinas)
VS -	Volume de submedição dos hidrômetros
VSED -	Volume de submedição econômica no mês
z -	período projetado para a expansão da capacidade



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	OBJETIVOS .....	19
1.1.1	Objetivo Geral.....	19
1.1.2	Objetivos Específicos .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1	A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	20
2.2	SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	23
2.2.1	DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC).....	26
2.3	A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E O SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	28
2.4	PERDAS NO SAA .....	32
2.4.1	Perdas reais e aparentes.....	33
2.4.2	Método de decomposição de perdas de água <i>top-down</i> ou balanço hídrico	37
2.4.3	Método de decomposição de perdas de água <i>bottom-up</i> .....	41
2.4.4	Indicadores e índice de perdas de água em SAA.....	45
2.4.5	Ações para controle e redução de perdas reais e aparentes .....	52
2.5	NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS .....	64
2.6	AVALIAÇÃO DE PERDAS E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO EM SAA.....	70
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>79</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA INTEGRADO DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA – SAIC: ESTUDO DE CASO.....	82
3.2	ETAPAS DA PESQUISA .....	85
3.2.1	ETAPA PRELIMINAR: SELEÇÃO DOS DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMCs) DO SAIC E LEVANTAMENTO DE DADOS. ....	85
3.2.2	ETAPA 1: DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES PELO BALANÇO HÍDRICO E POR INDICADORES E ÍNDICE.....	88
3.2.3	ETAPA 2: DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS E DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES .....	94
3.2.4	ETAPA 3: PROPOSTA DE UM MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO..	104
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>

4.1	DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES DO SAIC	108
4.2	AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ECONÔMICOS DE PERDAS DE ÁGUA .....	130
4.3	PROPOSTA DE UM MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO .....	164
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>180</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>184</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>185</b>
	<b>APÊNDICE 1 – RESULTADOS .....</b>	<b>203</b>
	<b>APÊNDICE 2 – RELAÇÃO DE EXTENSÃO DE REDE POR LIGAÇÃO (M/LIGAÇÃO) NO SAIC .....</b>	<b>207</b>
	<b>APÊNDICE 3 – AMOSTRAS COM 46 DMCS SELECIONADOS ALEATORIAMENTE DO SAIC .....</b>	<b>208</b>
	<b>APÊNDICE 4 – AMOSTRAS COM 23 DMCS SELECIONADOS ALEATORIAMENTE DO SAIC .....</b>	<b>212</b>
	<b>ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA .....</b>	<b>214</b>
	<b>ANEXO 2 – MAPA COM A DELIMITAÇÃO DOS MANANCIAIS DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.....</b>	<b>216</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de água potável é uma necessidade básica humana, sendo seu acesso um direito garantido em lei. Entretanto, verifica-se que a desigualdade no acesso à água potável ainda é grande, o que torna a universalização da água um dos desafios a serem superados em diversos países, inclusive no Brasil.

Comparando o índice de atendimento da população total com abastecimento de água das regiões brasileiras, a região Sudeste obteve o maior índice, com 91,3% de atendimento, seguida das regiões Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte com 90,1%, 89,7%, 73,3% e 57,5%, respectivamente (BRASIL, 2018a). Logo, verifica-se que as regiões mais frágeis economicamente (Norte e Nordeste) possuem um desafio de universalização muito maior em relação ao pólos econômicos do Brasil, como Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Por outro lado, apesar desses pólos urbanos brasileiros se aproximarem da universalização, deve-se considerar que os fatores qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos são limitantes para os sistemas de abastecimento de água (SAA). Infelizmente, a qualidade e a quantidade, em termos de volume disponível de captação dos corpos hídricos tem sido comprometida em função da falta da infraestrutura adequada para tratamento de esgoto e também em função de longos períodos de estiagem que certas regiões tem enfrentado.

Quando os fatores quali-quantitativos não são satisfatórios, podem haver intermitências no abastecimento de água que prejudicam a qualidade do atendimento. Dessa forma, ter apenas infraestrutura do SAA instalada pode permitir uma conclusão errônea de que existe a universalização do acesso à água. Essa universalização pode mascarar as condições reais de qualidade e quantidade dos recursos hídricos que garantem a continuidade no fornecimento de água para o SAA.

Aliado aos desafios quali-quantitativos dos recursos hídricos, os SAAs também lidam com problemas decorrentes das perdas de água. As perdas de água em SAAs resultam diferença entre o volume de água que entrou no sistema e o consumo autorizado pela concessionária, seja ele medido ou não (LAMBERT; HIRNER, 2000), em outras palavras, correspondem ao volume de água que foi distribuído, porém não chegou para o consumidor ou chegou e não foi cobrado.

Portanto, as perdas de água estão relacionadas com o grau de eficiência do SAA: quanto menor a eficiência do SAA, maiores são as perdas. Essas elevadas

perdas de água podem ser discutidas entre dois contextos: o contexto social, em que existe a crescente demanda por água em função do crescimento populacional e do uso não racional da água; e no contexto econômico, em que é necessário aplicar maiores investimentos para a captação, tratamento, transporte e distribuição de água, já considerando que parte será perdida. Ou seja, a determinação e avaliação das perdas de água em SAA, sejam por serviços autônomos ou realizados por concessão para empresas públicas, mista ou privadas, torna-se necessária e deve ser utilizada como ferramenta de tomada de decisão, quanto à ampliação de sistemas ou quanto ao investimento em infraestrutura existente.

Uma das formas utilizadas para determinação de perdas de água em SAA é o método de decomposição de perdas água, denominado *top-down* ou mais conhecido como método do balanço hídrico, desenvolvido pela *International Water Association* – IWA – em 2000, sendo a última revisão em 2017 (ALEGRE et al., 2017). Nesse método, as perdas reais referem-se aos vazamentos, sendo que estas podem ocorrer desde a captação até o hidrômetro das edificações; já as perdas aparentes originam-se de consumos não autorizados e submedição de hidrômetros (ALEGRE et al., 2017). Em termos de nomenclatura, as perdas reais podem ser denominadas como perdas físicas e as perdas aparentes como perdas comerciais (MELATO, 2010). As perdas comerciais também podem ser referenciadas como perdas não físicas (VICENTINI, 2012). Assim, por questões de padronização, foi adotado as nomenclaturas de consideradas por Alegre et al. (2017) nessa dissertação, ou seja, perdas reais e aparentes. Quanto ao método do balanço hídrico, recomenda-se que seja aplicado anualmente em SAAs, para que efeitos de sazonalidade do sistema sejam minimizados e, também, para que o progresso na redução de perdas seja acompanhado ao longo dos anos.

Cabe destacar ainda que os resultados de perdas obtidos pelo método devem ser avaliados por meio de indicadores e índices de perdas, que possam representar o desempenho operacional do SAA, visando adotar as ações para o combate e controle de perdas. Os indicadores mais utilizados são o indicador de perdas por ligação - IPL, o índice de vazamentos da infraestrutura - IVI, o indicador de perdas por extensão de rede - IPE e o indicador percentual de perdas – IP.

Ainda, deve-se considerar como parte da avaliação das perdas de água em SAA, o nível econômico, que consiste em determinar o ponto de equilíbrio entre o investimento no combate e controle e as perdas em termos de faturamento, e está

diretamente relacionado às especificidades locais como, por exemplo, extensão de rede, número de ligações e características dos hidrômetros, podendo assim, variar entre sistemas ou até mesmo dentro do próprio SAA.

Portanto, este trabalho, por meio da determinação, avaliação das perdas no ano de 2017 e do nível econômico, aplicado ao maior sistema de abastecimento de água do Paraná, um sistema integrado envolvendo o município de Curitiba e mais 11 municípios da região metropolitana, propõe um modelo simplificado visando obter uma visão holística do sistema. Esse modelo integra os aspectos relacionados às perdas e os aspectos econômicos, e pode ser utilizado em estudos de concepção e planejamento para ampliação de sistemas, bem como no direcionamento de investimentos para o combate e controle.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o nível econômico em relação às perdas de água considerando dos distritos de medição e controle pertencentes ao Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana - SAIC.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as perdas reais e aparentes nos distritos de medição e controle do SAIC por meio do método do balanço hídrico e por indicadores e índices de perdas;
- Avaliar a o nível econômico de vazamento e de perdas aparentes por meio de modelos econômicos;
- Propor um modelo simplificado integrado.



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

A gestão de recursos hídricos surgiu no Brasil por meio Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criada pela Lei Federal nº 9.433 de 1997. Nessa política, define-se gestão de recursos hídricos como a coordenação integrada das águas, envolvendo o planejamento, controle, regulamentação, preservação e recuperação dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Todo esse conjunto de ações objetiva assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade à atual e às futuras gerações, promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e também a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (BRASIL, 1997). Portanto, a gestão dos recursos hídricos pode ser entendida como o grupo de ações que abrangem a administração e planejamento dos recursos hídricos.

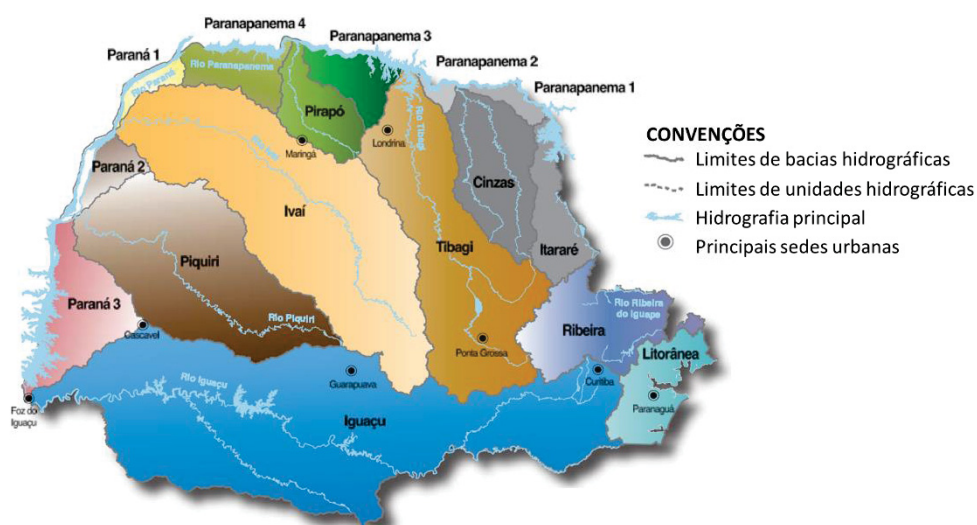
O preceito da administração e planejamento da PNRH se baseia em alguns fundamentos, dentre eles, considerar a água como um bem de domínio público e limitado, cuja unidade territorial de planejamento e gestão deve ser a região hidrográfica (BRASIL, 1997). A superação das fronteiras estaduais como unidade de planejamento dos recursos hídricos permitiu uma nova divisão administrativa, que no caso do Brasil, foram divididas em doze regiões hidrográficas (BRASIL, 2003). Considerando as regiões hidrográficas brasileiras, o Estado do Paraná está dividido em: Região Hidrográfica do Atlântico Sul, do Atlântico Sudeste e do Paraná. As demais regiões estão apresentadas na FIGURA 1 e correspondem às regiões: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Paraguai e Uruguai.

A map of Brazil divided into 10 hydrographic regions, each labeled with its name. The regions are color-coded: Região Hidrográfica Amazônica (light green), Região Hidrográfica do Tocantins / Araguaia (light blue), Região Hidrográfica do São Francisco (pink), Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental (light grey), Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental (yellow), Região Hidrográfica do Atlântico Leste (light green), Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (orange), Região Hidrográfica do Atlântico Sul (dark orange), Região Hidrográfica do Paraguai (purple), and Região Hidrográfica do Paraná (teal).

FONTE: Brasil (2003).

Segundo a PNRH, o planejamento e gestão de cada região hidrográfica devem ser realizados por meio do plano de recursos hídricos, sendo cada Estado responsável pela respectiva elaboração (BRASIL, 1997). No caso do Paraná, o Estado foi dividido em dezesseis bacias hidrográficas pela Resolução nº 24 de 2006 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) (SEMA, 2006a), conforme apresentado na FIGURA 2.

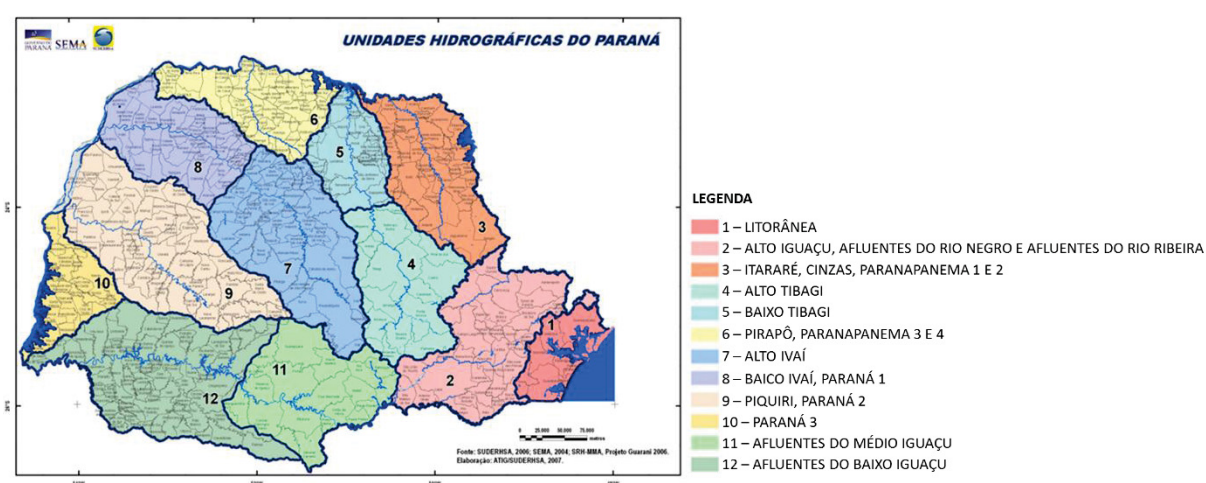
FIGURA 2 – BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: Adaptado de Águas Paraná (2010).

Entretanto, a fim de respeitar especificidades locais como por exemplo as características socioeconômicas e de uso e ocupação do solo, as dezesseis bacias hidrográficas do Paraná foram agrupadas em doze unidades hidrográficas segundo a Resolução nº 49 de 2006 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) (SEMA, 2006b). Essas 12 unidades hidrográficas são consideradas as unidades de atuação para o planejamento e gestão dos recursos hídricos no Paraná e as suas respectivas delimitações encontram-se na FIGURA 3.

FIGURA 3 – DELIMITAÇÕES DAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ



FONTE: Adaptado de Águas Paraná, 2006.

Nessas unidades hidrográficas, a utilização da água pode ser feita de maneira distinta, por diversos tipos de usuários. Considerando o Estado do Paraná, o maior usuário de água se dá pelo o abastecimento público, seguido da demanda industrial, agricultura e pecuária (42%, 24%, 21% e 13% do total consumido, respectivamente) (SEMA, 2015). Existem outros tipos de usos como geração de energia, transporte e mineração (BRASIL, 1997), sendo que a união de todos esses usos caracteriza o que se denomina os usos múltiplos da água. Cabe salientar ainda que dentre todos esses usos múltiplos, a PNRH estabelece que em situações de crise hídrica o uso prioritário é para o abastecimento de água (e a dessedentação de animais) (BRASIL, 1997), cujo conceito e partes integrantes são aprofundados no item 2.2.

## 2.2 SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em janeiro de 2007, a Lei Federal nº 11.445 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico e definiu uma política federal de saneamento básico (BRASIL, 2007a). Nela, destaca-se o conceito de sistema de abastecimento de água (SAA), que se caracteriza “pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição” (art 3º, parag. I, Lei Federal nº 11.445/2007) (BRASIL, 2007a). Assim como os demais usos, o abastecimento de água deve assegurar as gerações atuais e futuras os padrões de qualidade e quantidade adequados.

No caso da qualidade da água para abastecimento público, os corpos hídricos são enquadrados em classes, conforme a resolução nº 357 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005). Já a quantidade está relacionada a outorga, concedida pela ANA, conforme estipulado na Lei Federal nº 9.984 (BRASIL, 2000).

Logo, em função do enquadramento do rio e da vazão outorgada, os SAAs podem assumir diversas configurações, podendo ser o convencional ou outros arranjos (como os sistemas isolados e integrados) (SOUSA, 2011). Para Tsutiya (2006), o abastecimento convencional é composto por: Manancial, Captação, Estação Elevatória, Adutora, Estação de Tratamento de Água, Reservatório e Rede de Distribuição, conforme ilustrados na FIGURA 4.

FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DE SAA



FONTE: Adaptado de Howard (2015).

Os mananciais são os locais de onde a água é retirada e podem ser classificados como: superficial (de rios, canais e lagos) e subterrâneos (oriundo de aquíferos e lençóis subterrâneos) (BRASIL, 2015).

Posterior a captação, a água é conduzida por tubulações denominadas adutoras, que segundo Vincentini (2012), conduzem água entre unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição. Desta forma, as adutoras interligam a captação à estação de tratamento de água (adutoras de água bruta) e desta aos reservatórios (adutoras de água tratada). Muitos estudos têm sido realizados acerca do risco de falha proveniente de transientes hidráulicos<sup>1</sup> nessas unidades (AKPAN et al., 2017; SOARES, MARTINS; COVAS, 2017; MARTINS et al., 2016; KIM, ZECCHIN e CHOI, 2014; LEE et al., 2010) e também utilizando análise inversa de transiente<sup>2</sup> (*inverse transient analysis* - ITA) para detecção de vazamentos (COVAS; RAMOS, 2010; SHAMLOO; HAGHIGHI, 2010; COVAS et al., 2004, FERRANTE; BRUNONE, 2003).

Eventualmente, a água precisa vencer grandes desníveis geométricos, sendo necessária, então, a implantação de uma estação elevatória de água. Define-se estação elevatória de água (EE), como o local onde estão instalados conjuntos moto-bombas destinados a conduzir a água por desníveis geométricos ou para locais distantes da captação, a fim de garantir a continuidade do abastecimento de água. Podem ser classificadas em estação elevatória de água tratada (EET) ou estação elevatória de água bruta (EEB), em função da origem da água (VINCENTINI, 2012). Devido ao consumo de energia elétrica nessas unidades representar de 95% a 98% (QUN; JIAYUAN; CHAO, 2017) do consumo total do sistema de abastecimento, diversos estudos objetivam otimizar o consumo de energia nesses sistemas (MUNIZ, 2016; MOREIRA, RAMOS, 2013; CUNHA, 2010; COSTA, 2009). Já outras pesquisas focaram na redução de perdas concomitantemente com a redução do consumo energético (SOUSA; SOARES, 2014; CAMBOIM, 2012; BRAGHIROLI; SANTOS; BREGA FILHO, 2011; MONTENEGRO, 2009).

---

<sup>1</sup> Transientes hidráulicos é um fenômeno que ocorre em um escoamento de regime não permanente onde uma onda de pressão é propagada ao longo da tubulação (LANSEY; BOULOS, 2005). Esse fenômeno geralmente ocorre devido ao fechamento brusco de uma válvula ou desligamento inesperado de elevatórias de água.

<sup>2</sup> O ITA envolve a simulação de uma tubulação em condições transitórias e a simulação destas mesmas condições em um modelo numérico computacional. As diferenças obtidas entre o modelo experimental e o numérico podem indicar a presença de vazamentos devido a diferença de pressões registradas (KARNEY et al., 2009).

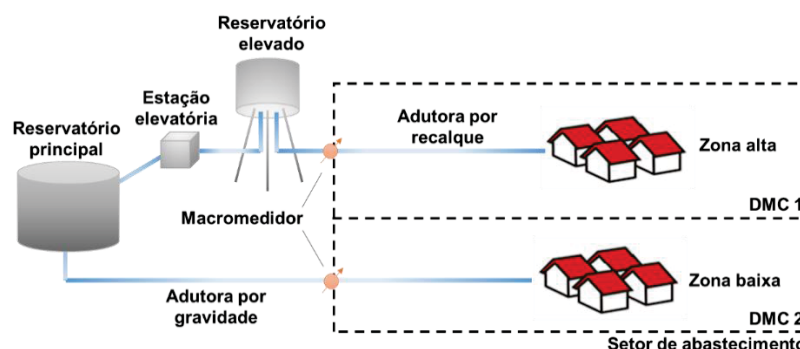
Outra unidade que compõe o SAA é Estação de Tratamento de Água (ETA) que tem por finalidade tratar a água para atingir os padrões de potabilidade necessários (ABNT, 1992). Os padrões de potabilidade estão estabelecidos na Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, que entrou em vigor em setembro de 2017 (BRASIL, 2017a). Anteriormente, os padrões de potabilidade eram regidos pela Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2012).

Na sequência do tratamento, a água é encaminhada para a unidade de reservação, cujo objetivo é regularizar as variações de adução e distribuição, além de propiciar pressões adequadas e garantir o abastecimento de água à rede de distribuição (ABNT, 1994) para então ser transportada para o consumidor final por meio da rede de distribuição de água (RDA) em quantidade, qualidade e pressão adequadas (AZEVEDO NETTO et al., 2012). As pressões mínimas são estipuladas pela ABNT NBR 12218:2017 (ABNT, 2017), que estabelece as condições gerais e específicas para o projeto da rede de distribuição. Está disposto nesta norma que a pressão estática máxima da rede é 400kPa (40mca) - podendo chegar a 50 mca em regiões com topografia acidentada - e a pressão dinâmica mínima de 10 mca.

Usualmente, um reservatório principal abastece áreas com cotas mais baixas, denominadas zona baixa, por meio de uma adutora que opera por gravidade. Entretanto, existem áreas da RDA onde não é possível manter a pressão mínima dinâmica de 10 mca. Logo, o atendimento dessas regiões altas (também denominadas de zona alta) é realizado por meio de uma estação elevatória que transporta água até um reservatório elevado e a partir deste realiza-se a distribuição para os consumidores finais. O acompanhamento do consumo das zonas é feito via medidores de vazão, que podem ser de grande porte (macromedidores) ou pequeno porte (micromedidores) (CONEJO, LOPES, MARCKA, 1999). Cada macromedidor corresponde a um Distrito de Medição e Controle (DMC) e são de importância fundamental para a quantificação das perdas do sistema (SOUZA, 2011; SOUZA JÚNIOR, 2014). A FIGURA 5 exemplifica o sistema de distribuição de água.



FIGURA 5 - ESQUEMA DE SISTEMA MUNICIPAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA



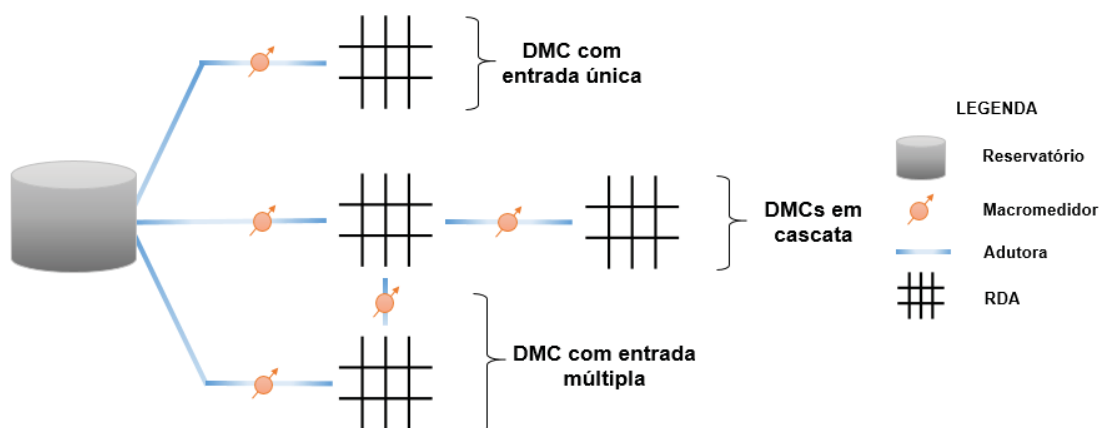
FONTE: Autora (2019).

### 2.2.1 DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC)

Distrito de medição e controle (DMC) é definido como uma área distinta da rede de distribuição que é usualmente delimitada por registros (WU et al., 2011). A ABNT NBR 12218:2017 define o DMC como “área delimitável e isolável que possibilita o [...] monitoramento das vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas” (ABNT, 2017a). Dessa forma, a subdivisão da rede de abastecimento em diversas DMCs e o respectivo monitoramento das medições podem facilitar a detecção de vazamentos, auxiliando no combate a redução das perdas do sistema.

Segundo Klingel e Knobloch (2011), os DMCs podem ser categorizadas por três maneiras distintas: DMC com medição de vazão por entrada única, com entrada múltipla ou em cascata. O DMC com entrada única permite obtenção de vazões de maneira direta, enquanto o de entrada múltipla exige a soma das vazões de todos os macros envolvidos e o em cascata necessita da subtração do medidor a jusante. Thornton, Sturm e Kunkel (2008) complementa também que o distrito com entrada única requer menos intervenções para sua implantação, possui menos os erros de medição de vazão agregados e permite uma melhor compreensão pelos operadores do sistema. As três categorias de distritos de medição e controle estão representadas na FIGURA 6.

FIGURA 6 - CATEGORIAS DE DMCs



FONTE: Autora (2019).

Apesar da categorização dos DMCs ser bem definida, a sua delimitação pode ter como base um ou mais critérios, como o número de ligações, extensão de rede, custo de implantação e manutenção.

A definição da área de abrangência do DMC em função do número de ligações foi tema de diversos estudos. Morrison et al. (2007) sugere que o número de ligações seja no mínimo 500 ligações e não supere 3000 ligações. De maneira semelhante, Farley et al. (2008) recomendam que o número de ligações seja entre 1000 e 2500 ligações enquanto o ideal para a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) é de 1500 a 2000 ligações (EPA, 2010). Verifica-se então que não existe ainda um consenso quanto ao número de ligações que devem constituir um DMC, entretanto, a quantidade de ligações é relativamente semelhante entre os autores citados.

Os critérios para a formação do DMC também podem ser associados a extensão de rede. A ABNT NBR 12218:2017 recomenda que além do DMC não superar 5000 ligações, a extensão máxima de rede deve ser de 25 km (ABNT, 2017a).

Quanto ao custo de implantação e manutenção como processo de delimitação para criação de DMCs, Gomes, Marques e Sousa (2012) propuseram a utilização de uma equação que retorna o custo em valor presente a partir da diferença entre os benefícios econômicos (redução de perdas de água) e o custo total para implantação do DMC (medidores de vazão, tubulações, válvulas, entre outros). Outra alternativa para redução dos custos de implantação é a utilização de áreas de abrangência de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) e boosters. Tais áreas são bem definidas na



RDA e não necessitam de implantação de válvulas delimitando o DMC para a criação de um DMC. Dessa maneira, as VRPs e boosters também podem ser utilizadas como distritos de medição mediante a instalação de um medidor de vazão junto a própria válvula redutora ou bomba.

## 2.3 A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E O SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A problemática da gestão dos recursos hídricos e o sistema público de abastecimento podem interagir em três esferas: a social, a ambiental e a econômica.

Considerando a esfera social, o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”, publicado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) e baseado em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) divulgou dados no último relatório publicado em 2018 onde Brasil apresentou uma cobertura de atendimento total de rede de água de 83,3%, sendo que a região Norte e Nordeste possuem os menores índices de atendimento (de 57,5% e 73,3%) (BRASIL, 2018a). Esses valores demonstram que a universalização do acesso à água no Brasil ainda está distante de acontecer, especialmente no Nordeste. Destaca-se também que avaliando esse índice entre os anos de 2012 e 2017, houve um incremento de 1% apenas (BRASIL, 2018a), o que sugere que a expansão da rede de distribuição de água tem acompanhado o crescimento populacional, mas por outro lado poucos investimentos têm sido feitos no sentido de atender a pretendida universalização da água.

Quanto a esfera ambiental, sabe-se que no Brasil 56,1% do esgoto gerado não recebe nenhum tipo de tratamento, sendo aportado diretamente nos corpos hídricos (BRASIL, 2018a) e agravando a condição da qualidade hídrica. Além da interferência na qualidade em função do despejo indevido em corpos hídricos, existe também o problema da desigualdade nos volumes distribuídos nas bacias hidrográficas. Enquanto a região hidrográfica amazônica concentra 83% da disponibilidade hídrica brasileira ( $65.617\text{m}^3/\text{s}$ ), as regiões no Nordeste brasileiro, considerando as bacias do Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco e Atlântico Leste concentram apenas 2,6% ( $2.086\text{m}^3/\text{s}$ ) do total nacional ( $78.602\text{m}^3/\text{s}$ ), conforme o último relatório da Agência Nacional de Águas

– ANA (BRASIL, 2017b). Cabe salientar que, além da reduzida disponibilidade hídrica das regiões no Nordeste brasileiro, estudos apontam que o aquecimento global está afetando regimes hidrológicos nessa região (SANTOS; GALVINCIO; MOURA, 2015; JONG et al., 2018; VILLAMAYOR; AMBRIZZI; MOHINO, 2018), bem como promovendo a expansão do clima semiárido (FENG e FU, 2013; HUANG et al., 2016; RAJAUD; NOBLET-DUCOUDRÉ, 2017).

Logo, o crescimento populacional associado a degradação da qualidade dos recursos hídricos e os regimes hidrológicos diferenciados geram um cenário preocupante a respeito da disponibilidade hídrica brasileira, especialmente em casos de grandes períodos de estiagem.

Diversos sistemas de abastecimento brasileiros já entraram em colapso<sup>3</sup> devido à escassez hídrica. Dentre esses sistemas está o sistema Cantareira, que é de concessão da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e é responsável pelo abastecimento de parte significativa da região metropolitana de São Paulo (RMSP). Esse sistema vivenciou entre os anos de 2014 e 2015 vazões afluentes ao sistema muito menores do que a série histórica registrada desde 1930 e inclusive inferior ao pior ano da série, em 1953 (BRASIL, 2017b). O impacto da estiagem acarretou na redução no abastecimento de água à RMSP, forçando a concessionária a buscar estratégias para o enfrentar crise hídrica, como obras emergenciais, utilização de caminhão pipa, utilização do volume morto<sup>4</sup> dos mananciais e alterações na tarifa em função do consumo de água (MARENGO et al., 2015).

Já na região Nordeste do Brasil, 78,5% dos municípios decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública devido a secas no período de 2003 a 2016 (BRASIL, 2017b). Essas estiagens observadas têm prejudicado expressivamente os setores como o abastecimento público, irrigação e geração de energia. Como alternativa para contornar a falta de abastecimento, muitos municípios recorreram ao abastecimento por caminhão pipa.

A região Sul, mais especificamente no Paraná, também tem enfrentado períodos de estiagem. Em agosto de 2018, a estação fluviométrica 65310001

---

<sup>3</sup> Colapso corresponde ao esgotamento dos mananciais utilizados ou quando o SAA está com o abastecimento interrompido por 4 dias ou mais por semana (BRASIL, 2017b).

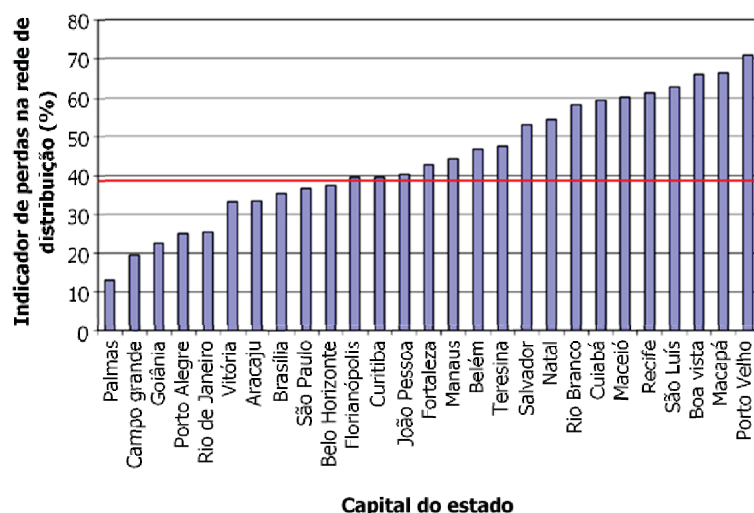
<sup>4</sup> Volume morto refere-se ao volume do reservatório abaixo do nível mínimo de retirada de água por gravidade (BRASIL, 2017b).

pertencente a União da Vitória registrou o nível de 1,44 m do rio Iguaçu (BRASIL, 2018b). Destaca-se que esta altura se aproxima da menor lâmina observada (1,33 m) desde o início da operação da estação, em 1930 (BRASIL, 2018c). A baixa no nível de água do rio Iguaçu pode provocar problemas para os habitantes de sua bacia, visto que é um importante corpo hídrico responsável por abastecer diversos municípios paranaenses, além de possuir importante papel no aproveitamento hidroelétrico.

Agravando mais a situação no tocante ao contexto ambiental da disponibilidade hídrica, os sistemas de abastecimento de água (SAAs) possuem perdas de água. Segundo Lambert e Hirner (2000), o conceito de perdas corresponde à diferença entre o volume de entrada do sistema e o volume autorizado pela concessionária, seja ele medido ou não. Tais perdas são muito elevadas nos SAAs brasileiros, em comparação com diversos países desenvolvidos.

Observa-se na FIGURA 7 que no Brasil, as regiões Norte e Nordeste, menos urbanizadas e com maior fragilidade econômica, possuem os maiores indicadores de perdas, sendo a grande parte superior a 45% (BRASIL, 2018). Por outro lado, a maioria dos estados da região centro-oeste, sudeste e sul ficam abaixo do nível médio de perdas média nacional no Brasil (38,1%) (BRASIL, 2018). Em contrapartida, de acordo com dados de 2014 do *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (DANILENKO et al., 2014) países desenvolvidos, como Austrália e Polônia, possuem perdas de 15%, o que evidencia um melhor desempenho operacional dos prestadores de serviço.

FIGURA 7 - INDICADOR DE PERDAS NOS SAAs SEGUNDO CAPITAL DE ESTADO E MÉDIA DO BRASIL



FONTE: Adaptado de Brasil (2018a).

Os volumes de água perdidos em SAA também interagem em um contexto econômico, visto que se torna necessário dimensionar captações, adutoras, ETAs, reservatórios e redes de distribuição para um volume superior ao demandado, a fim de compensar a água perdida. Consequentemente, é possível que os investimentos nessas unidades (captação, transporte, tratamento, reservação e distribuição) serão maiores. Portanto, dependendo da magnitude das perdas do SAA, é possível que a redução de perdas reflita numa prorrogação de investimentos em novas captações, além da possibilidade de implantar uma infraestrutura menos robusta para transportar um volume de água excedente e que será perdido. Além disso, o dinheiro recuperado do investimento pode ser redirecionado a obras de ampliação da cobertura do atendimento da rede de distribuição, trazendo um benefício social e ambiental para a sociedade.

Diante do cenário apresentado, tem-se uma situação crítica estabelecida pelas três esferas: existe a crescente demanda por água em função do crescimento populacional, porém tanto a qualidade como a quantidade dos corpos hídricos tem sido comprometida em função da falta da infraestrutura adequada e de longos períodos de estiagem que certas regiões têm apresentado.

Nesse contexto de escassez quali-quantitativa dos recursos hídricos, existem soluções com vertentes educacionais que buscam sensibilizar os usuários para mudança nos padrões de consumo. Um exemplo dessa prática foi a cartilha “Uso Racional da Água”, publicado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná em 2018 (PARANÁ, 2018). Outra vertente é o uso de tecnologias para a conservação dos recursos hídricos, como por exemplo o uso de aparelhos economizadores de água, sistemas para captação de água pluvial, o reuso de água e a própria gestão de perdas. Entretanto, mesmo com tais soluções disponíveis, ainda impera na área de saneamento uma cultura de simples aumento da oferta e do consumo individual, sem dar importância ao uso racional da água.

Logo, a falha na visão das três esferas fere o conceito da coordenação integrada dos recursos hídricos prevista na PNRH e a problemática social, ambiental e econômica superam a administração local dos recursos hídricos e passa a ser um problema de administração e planejamento dos recursos hídricos em todo o Brasil, ou seja, um problema de gestão de recursos hídricos.

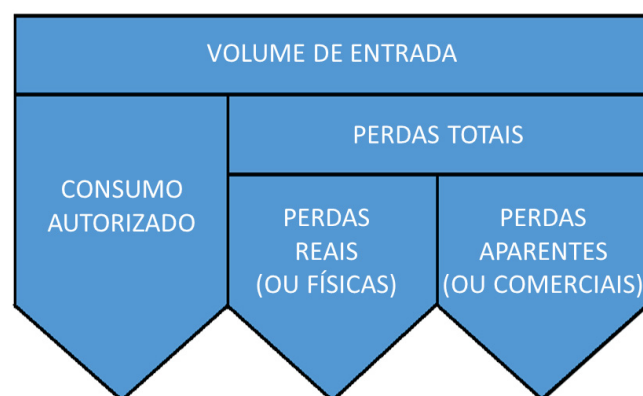
## 2.4 PERDAS NO SAA

Nas seções a seguir apresentam-se os principais aspectos relacionados às perdas de água em SAAs, onde foram definidos os conceitos de perdas reais e aparentes, métodos para a decomposição de perdas de água, indicadores e índices utilizados para a avaliação operacional dos sistemas de água e por fim apresentar as principais ações para controle e redução de perdas reais e aparentes.

Segundo Lambert e Hirner (2000), o conceito de perdas de água corresponde à diferença entre o volume de entrada do sistema e o volume autorizado pela concessionária, seja ele medido ou não. Analogamente, tal definição ainda é aplicada por pesquisadores, sendo expressa por eles como a relação entre os volumes produzidos e faturados (FARLEY et al., 2008; SOUZA; COSTA, 2014; BRAGA, 2016; PHILIPPI JR., 2018) e de maneira semelhante, Azevedo Netto et al. (2012) considera perdas como a diferença entre o volume de água produzido nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) e o total dos volumes medidos nos hidrômetros.

As perdas podem ser de dois tipos: perdas reais (também denominada físicas) e perdas aparentes (também chamadas não físicas ou comerciais) (WU et al., 2011; ALEGRE et al., 2017). A FIGURA 8 representa esquematicamente o conceito de perdas apresentado.

FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE PERDAS EM SAA



FONTE: Autora (2019).

#### 2.4.1 Perdas reais e aparentes

As perdas reais (também denominadas de físicas) originam-se de vazamentos e são consideradas as principais fontes de perdas em sistemas de distribuição (GUPTA; KULAT, 2018) e desde a década de 80 existem diversos estudos para sua avaliação, detecção e controle nos SAAs (GOODWIN, 1980; LIOU; HALL; MCMAHON, 2003; COLOMBO; LEE; KARNEY, 2009; ADEDEJI et al., 2017).

Suas consequências também vêm sendo estudadas: vazamentos tendem a gerar interrupções no abastecimento, provocam aumento da energia consumida, (COLOMBO; KARNEY, 2005; GUPTA et al., 2016) cujo custo acaba sendo repassado para os consumidores (BEAL; FLYNN, 2014), além de propiciar a contaminação da água por meio de agentes patogênicos (KARIM; ABBASZADEGAN; LECHEVALLIER, 2003).

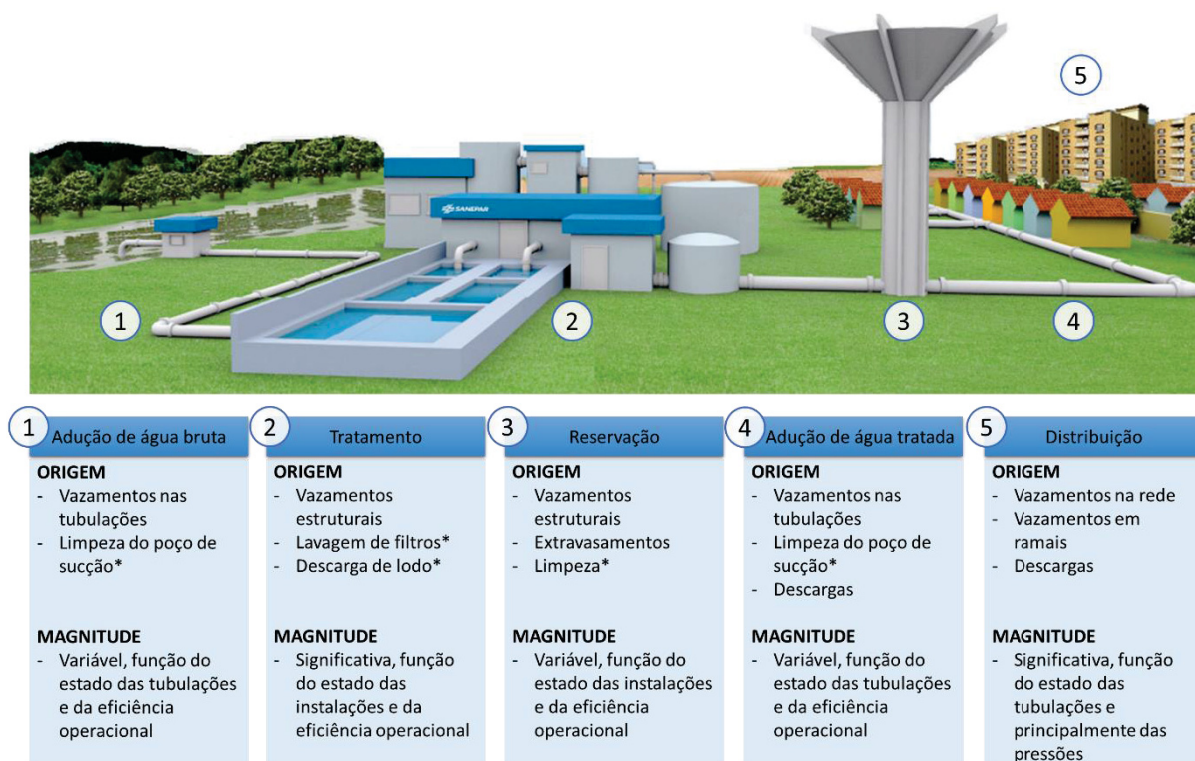
As causas dos vazamentos em redes podem ser em função de diversos fatores, tais como variações de pressão (principalmente as altas pressões), condições físicas da infraestrutura (material, idade, defeitos no tubo, corrosão interna e externa), condições de tráfego e tipo de pavimento sobre a rede, recalques do subsolo. Os vazamentos podem estar relacionados à qualidade dos serviços (mão-de-obra e material empregado, conexões mal executadas), tanto na implantação da rede quanto na execução de reparos (danificações causadas por escavações), agilidade na execução dos reparos e condições de gerenciamento (telemetria, método de coleta e armazenamento de dados) e temperatura (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008; PUUST; KAPELAN; SAVIC, 2010).

Nesse contexto, Covas e Ramos (2007) destacam que o envelhecimento das infraestruturas de abastecimento de água é um processo natural e inevitável, que tende a aumentar a frequência e o volume das rupturas e interrupções no abastecimento, onerando os custos de manutenção corretiva dos sistemas.

Destaca-se ainda que as perdas reais também podem ocorrer em qualquer etapa do SAA, cuja origem e magnitude estão apresentadas na FIGURA 9.



FIGURA 9 - ORIGEM E MAGNITUDE DE PERDAS REAIS POR COMPONENTE DO SAA



FONTE: Texto adaptado de Moura et al. (2004). Ilustração adaptada de SANEPAR (2018c).

Nota: \* Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para operação.

Conforme a FIGURA 9, é possível observar que existe também a perda por extravasamento, que pode acontecer nos reservatórios. Para Tardelli Filho (2004) essas perdas dependem da regulagem dos equipamentos de bloqueio ou controle da entrada e saída de água. Entretanto, para Moura et al. (2004), as perdas mais significativas são as que acontecem na rede, na forma de vazamentos visíveis e inerentes. Os vazamentos visíveis são aqueles que afloram à superfície, enquanto os inerentes são aqueles provocados por registros, hidrantes, juntas mal vedadas, tubos perfurados, rachados ou partidos e são imperceptíveis aos equipamentos de detecção (REIS; CHEUNG, 2007).

A avaliação qualitativa das magnitudes dos vazamentos realizada por Moura et al. (2004) e apresentada na FIGURA 9 foi corroborada pelos resultados apontados por Sousa (2011). Na pesquisa de Sousa (2011), realizada no município de Maceió (Alagoas), apenas 0,25% dos vazamentos do sistema ocorriam na adutora de água tratada, enquanto o restante (99,75%) se subdividia em 32,05% na rede, 38,06% nos

ramais e 29,64% nos cavaletes. Já os vazamentos visíveis representaram 65% do total de perdas e os vazamentos inerentes 3%.

Apesar dos esforços acerca da avaliação, detecção e controle de perdas, devido às limitações dos aparelhos de detecção utilizados pelas concessionárias, da logística e rapidez do reparo, Tardelli Filho (2004) e Thornton, Sturm e Kunkel (2008) afirmam que dificilmente um sistema de abastecimento de água alcançará perda nula.

As perdas não podem ser vinculadas apenas às perdas reais. Outra parcela das perdas são as aparentes (também denominadas comerciais), consideradas perdas virtuais que acontecem no sistema, ou seja, representam a água consumida, porém não paga (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2010).

Para Petroulias, Foufeas e Bougoulia (2016), as perdas aparentes em países desenvolvidos não existem ou são muito baixas, ao contrário de países em desenvolvimento, que de acordo com a pesquisa realizadas pelo Banco Mundial em 2006, a média de perdas aparentes eram de aproximadamente 40% das perdas não faturadas. Já em 2008, segundo Thornton, Sturm e Kunel (2008), a média foi reduzida para 33%.

As perdas aparentes originam-se de consumos não autorizados (ligações clandestinas ou não cadastradas, fraudes, derivação (by-pass) irregular no ramal predial), erros na coleta de dados e submedição de hidrômetros (RIZZO et al., 2004; FANNER et al., 2007; FREITAS, 2010; KUSTERKO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015). De maneira resumida, as perdas aparentes compreendem a água que foi entregue ao consumidor final, mas não foi medida e, conseqüentemente, não faturada pela concessionária.

Alguns guias de controle de perdas, como por exemplo, o DVGW (2003) da Alemanha e o AWWA (2016) dos EUA sugerem valores para estimativa das perdas aparentes e justificam a utilização dessas estimativas quando dados detalhados sobre o sistema não estão disponíveis.

Segundo o guia alemão (DVGW, 2003), as perdas aparentes representam 1,5% a 2% do consumo autorizado, enquanto o guia americano (AWWA, 2016) recomenda para países desenvolvidos que a componente do consumo não autorizado seja estimado em 0,25% do volume de entrada do sistema.

Na literatura também existem métodos que podem ser aplicados para a determinação das perdas aparentes (RÍOS et al., 2014; LAMBERT et al., 2016), ou de seus componentes que consideram a correlação entre o número de ligações ilegais

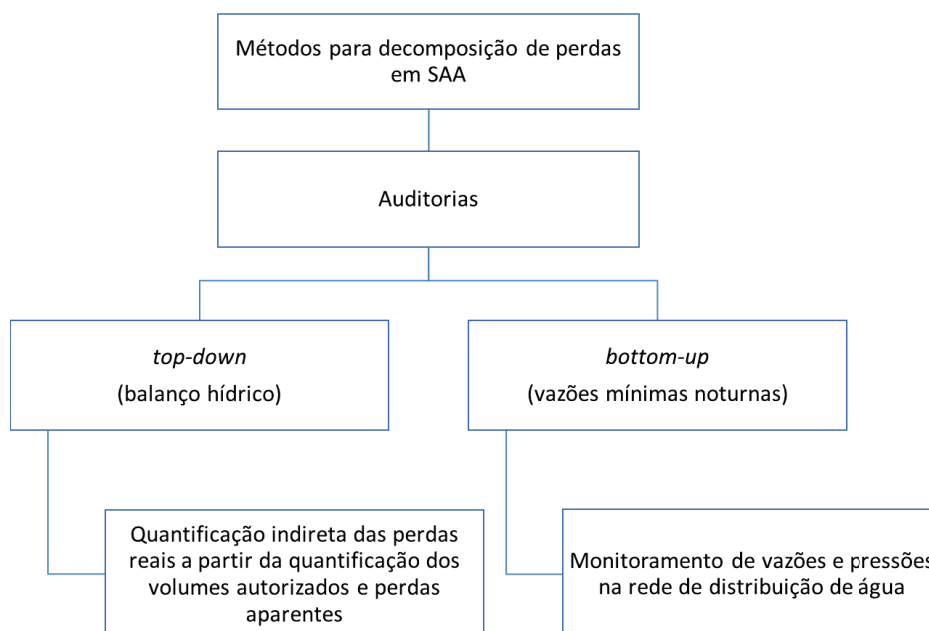


com o consumo não autorizado total (SHARMA; CHINOKORO, 2010; SHARMA; NHEMAFUKI, 2009) e também para a determinação da submedição dos hidrômetros (YANIV, 2009; CRIMINISI et al., 2009; COUVELIS; VAN ZYL, 2015; NCUBE; TAIGBENU, 2018).

Por outro lado, a avaliação de perdas de água em um sistema de abastecimento, ou parte dele, pode também ser realizada por meio auditorias, objetivando manter a operadora com dados e informações que auxiliem no controle e combate de perdas (MELATO, 2010) e que pode ser realizado de duas maneiras: *top-down* e *bottom-up*.

O método de abordagem *top-down*, também conhecido como balanço hídrico, consiste em categorizar os usos da água e quantificar seus respectivos volumes por meio de uma matriz científica e racional (GANORKARA; KHEDIKAR, 2011), enquanto o método de abordagem *bottom-up* determina as perdas reais por meio do monitoramento das vazões e pressões na rede. A FIGURA 10 representa esquematicamente os métodos para decomposição de perdas.

FIGURA 10 – MÉTODOS PARA DECOMPOSIÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SAA



FONTE: Autora (2019).

#### 2.4.2 Método de decomposição de perdas de água *top-down* ou balanço hídrico

O método de decomposição de perdas de água *top-down*, também denominado método do balanço hídrico, foi publicado por membros Lambert e Hirner (2000), da IWA, e é um dos métodos mais utilizados para a avaliação das perdas de água (KLINGEL; KNOBLOCH, 2015; SOUZA JÚNIOR, 2014). O método do balanço hídrico também é utilizado pelas principais companhias de saneamento do Brasil, como SABESP e SANEPAR.

O cálculo do balanço hídrico inicia-se com o volume de água que entra num determinado sistema, denominado volume de entrada no sistema, que é dividido em volume autorizado faturado, volume autorizado não faturado, perdas aparentes e perdas reais e o volume autorizado faturado é aquele obtido mediante leituras dos hidrômetros. O volume autorizado não faturado contempla os usos operacionais e de corpo de bombeiro e venda de caminhão pipa dos sistemas de água. As perdas reais são as perdas provenientes de vazamentos e perdas aparentes são as perdas provenientes de problemas na micromedicação<sup>5</sup> e irregularidades nas ligações.

O volume autorizado não faturado somado às perdas reais e aparentes compõem a parcela denominada volume não faturado. Já o volume autorizado faturado equivale a parcela denominada volume faturado.

A matriz proposta pela IWA do método do balanço hídrico é apresentada no QUADRO 1.

QUADRO 1 – MATRIZ DO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO PARA PERDAS DE ÁGUA EM SAA

Volume de entrada no sistema	Volume autorizado	Volume autorizado faturado	Volume medido faturado	Volume faturado
			Volume não medido faturado	
	Perdas totais	Volume autorizado não faturado	Volume medido não faturado	Volume não faturado
			Volume não medido não faturado	
		Perdas aparentes	Volume não faturado	
			Volume de submedição de hidrômetros	
	Perdas reais		Vazamentos em adutoras de água bruta e em ETAs	
			Vazamentos em adutoras de água tratada e/ou rede de distribuição	
			Vazamentos e extravazamentos em reservatórios	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	

FONTE: Adaptado de Alegre et al. (2017).

<sup>5</sup> Conceitua-se micromedicação como o volume utilizado pelos clientes da concessionária, medido pelos hidrômetros (TSUTIYA, 2006).

Alguns exemplos de aplicação do método do balanço hídrico em sistemas de abastecimento de água, tanto em países desenvolvidos quanto de países em desenvolvimento, foram encontrados na literatura, onde se verificou a relação entre as perdas reais e perdas aparentes, conforme apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 – APLICAÇÕES DO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

REFERÊNCIA	LOCALIDADE	CLASSIFICAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DO PAÍS <sup>6</sup>	PERDAS REAIS	PERDAS APARENTES
Radivojević et al., 2008	Pirot (Sérvia)	Em desenvolvimento	97% das perdas totais	3% das perdas totais
Petroulias, Foufeas e Bougoulia, 2016	Drama (Grécia)	Desenvolvido	76% das perdas totais	24% das perdas totais
Chiipanthenga, 2008	Blantyre (Malawi)	Em desenvolvimento	72% das perdas totais	28% das perdas totais
Xin et al., 2014	SA (China)	Em desenvolvimento	66% das perdas totais	34% das perdas totais

FONTE: Autora (2019).

Nota-se na TABELA 1 o predomínio das perdas reais sobre as aparentes em todas as localidades, com destaque para a cidade de Pirot, onde a quase totalidade das perdas é devido as perdas reais. Verifica-se também que a proporção entre as perdas reais e aparentes se afastou da proporção sugerida pelo Banco Mundial para o balanço hídrico de países em desenvolvimento (60% para perdas reais e 40% para perdas aparentes) (KINGDOM, LIEMBERGER e MARIN, 2006). Por outro lado, a Grécia já se aproximou da proporção de 80% para perdas reais e 20% para perdas aparentes de países desenvolvidos (KINGDOM, LIEMBERGER e MARIN, 2006).

Assim, embora existam casos em que os resultados dos balanços hídricos sejam compatíveis com valores pré-definidos na literatura, deve-se ter cautela na utilização dessas sugestões literárias. A construção de um balanço hídrico com base

<sup>6</sup> Classificação de acordo com o indicador produto interno bruto (PIB) real do último relatório do Fundo Monetário Internacional (FMI, 2018).

em dados da literatura pode não refletir a realidade, além de implicar em decisões equivocadas no sentido de direcionamento de recursos para reparos na eliminação ou minimização de perdas.

A aplicação do método do balanço hídrico também pode ser realizada por meio de *softwares* disponíveis para download que seguem o padrão do balanço hídrico da IWA. Alguns softwares gratuitos foram listados por Melato (2010) e encontram-se relacionados no QUADRO 2.

QUADRO 2 – RELAÇÃO DE ALGUNS SOFTWARES PARA CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

SOFTWARE GRÁTIS	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DISPONIBILIDADE	E-MAIL OU PÁGINA DA INTERNET
AquaLite	Disponível para <i>download</i>	Internacional	ronniem@wrp.co.za
Benchleak	Disponível para <i>download</i>	África do Sul	
CheckCalcs	Caracteriza o sistema conforme o sistema do Banco Mundial.	Europa	www.studiomarcofantozzi.it
		Oriente	mfarley@alvescot.demon.co.uk
		Austrália e Nova Zelândia	sammiep@widebaywater.com.au
		Canadá e Estados Unidos	veritec@sympatico.ca
		Demais países	www.leakssuite.com
Leakage CheckUp	O balanço hídrico é realizado <i>on-line</i>	Europa	www.waterportal.com
WaterAudit	O balanço hídrico foi customizado para a terminologia americana	América do Norte	www.awwa.org/WaterWiser/waterloss/Docs/WaterAuditSoftware.cfm
WB EasyCalc	Caracteriza o sistema conforme o sistema do Banco Mundial.	Internacional	www.liemberger.cc

FONTE: Adaptado de Melato (2010).

Melato (2010) cita também o software denominado *Fastcalc*, desenvolvido pela empresa Wide Bay Water Corporation. O software *Fastcalc*, além de ser utilizado por países como Itália, Austrália, Nova Zelândia, também é utilizado pela SABESP. Entretanto, Melato (2010) destaca que o *Fastcalc* não é um software gratuito. Além dos softwares relacionados na QUADRO 2, outras opções de softwares também foram relacionadas por Klingel e Knobloch (2015).

Entretanto, para atender condições locais, pesquisadores como McKenzie, Seago e Liemberger (2007) e Kanakoudis e Tsitsifli (2010) propuseram modificações na primeira matriz do método do balanço hídrico proposta pela IWA em 2000, modificações as quais não foram consideradas na edição mais recente (de 2017) do

manual de indicadores de performance para sistemas de abastecimento de água (ALEGRE et al., 2017).

McKenzie, Seago e Liemberger (2007), ao aplicarem a matriz do balanço hídrico, verificaram a existência de casos de inadimplência que ocorriam em diversos sistemas de abastecimento da África do Sul. Assim, McKenzie, Seago e Liemberger (2007) subdividiram a categoria de águas faturadas em água faturada e paga (*water billed and paid for*) e em água faturada e não paga (*water billed and not paid*), onde a categoria água faturada e não paga (*water billed and not paid*) representaria as ocorrências de inadimplência considerados por McKenzie, Seago e Liemberger (2007).

Em 2010, Kanakoudis e Tsitsifli (2010) propuseram uma modificação também ao verificaram que no sistema de abastecimento de água da cidade de Kos, na Grécia, existia um volume de água que permanecia nas caixas de água e que não era consumido. Os autores então propuseram uma modificação na matriz do balanço hídrico, subdividindo a categoria águas não faturadas em um uso mínimo de água (denominado *minimum charge difference*) para contabilizar esse volume de água que foi faturado, mas não necessariamente utilizado.

Um resumo dessas modificações propostas por McKenzie, Seago e Liemberger (2007) e Kanakoudis e Tsitsifli (2010) estão apresentadas no QUADRO 3.

QUADRO 3 – MODIFICAÇÕES PROPOSTAS POR MCKENZIE, SEAGO E LIEMBERGER (2007) E KANAKOUDIS E TSITSIFLI (2010) PARA BALANÇO HÍDRICO DE PERDAS DE ÁGUA

McKenzie, Seago e Liemberger (2007)	Kanakoudis e Tsitsifli (2010)	Alegre et al. (2000, 2017)
Água faturada e paga	Água consumida e paga	Águas faturadas
Água faturada e não paga (inadimplência)	Água consumida não faturada	
Água não faturada	Uso mínimo de água (água que gera receita, porém não é consumida)	Águas não faturadas
	Águas não faturadas	

FONTE: Adaptado de Kanakoudis e Tsitsifli (2010).

Apesar do método do balanço hídrico ser largamente utilizado por não necessitar de um intenso trabalho de campo e por ser independente de pressão,

alguns cuidados devem ser tomados, principalmente em relação aos resultados de perdas reais, uma vez que essas perdas são definidas a partir da diferença entre o volume total de perdas e as estimativas de perdas aparentes (GUPTA; KULAT, 2018).

Klingel e Knobloch (2015) fizeram um levantamento de 36 países (15 países considerados desenvolvidos e 21 em desenvolvimento) que revelou que a maioria dos balanços hídricos dos países em desenvolvimento possuíam níveis de confiança menores para os resultados das perdas reais do que em países desenvolvidos devido ao seu maior banco de dados de medições.

Nesse sentido, a fim de evitar erros na determinação da perda real obtida utilizando o método do balanço hídrico, alguns autores recomendam a verificação do valor por meio da aplicação do método de decomposição de perdas de água *bottom-up* (LIEMBERGER; FARLEY, 2004; CHARALAMBOUS; HAMILTON, 2012; LAMBERT; TAYLOR, 2010).

#### 2.4.3 Método de decomposição de perdas de água *bottom-up*

O método *bottom-up* consiste na determinação das perdas reais baseado em dados de vazão e pressão da rede, sendo a análise da vazão mínima noturna (*Minimum Night Flow* – MNF) a técnica mais utilizada globalmente nesse método (MAZZOLANI et al., 2016; GUPTA; KULAT, 2018).

A análise da vazão mínima noturna é a partir do monitoramento das vazões em um DMC durante 24 horas. Traça-se o perfil de consumo horário do setor e verifica-se o valor mínimo da vazão (denominada vazão mínima noturna), que geralmente ocorre entre 2 horas e 4 horas da madrugada (AL – WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016). A vazão mínima noturna pode ser decomposta em duas parcelas: o consumo mínimo noturno e a vazão proveniente dos vazamentos, denominada vazão de vazamentos.

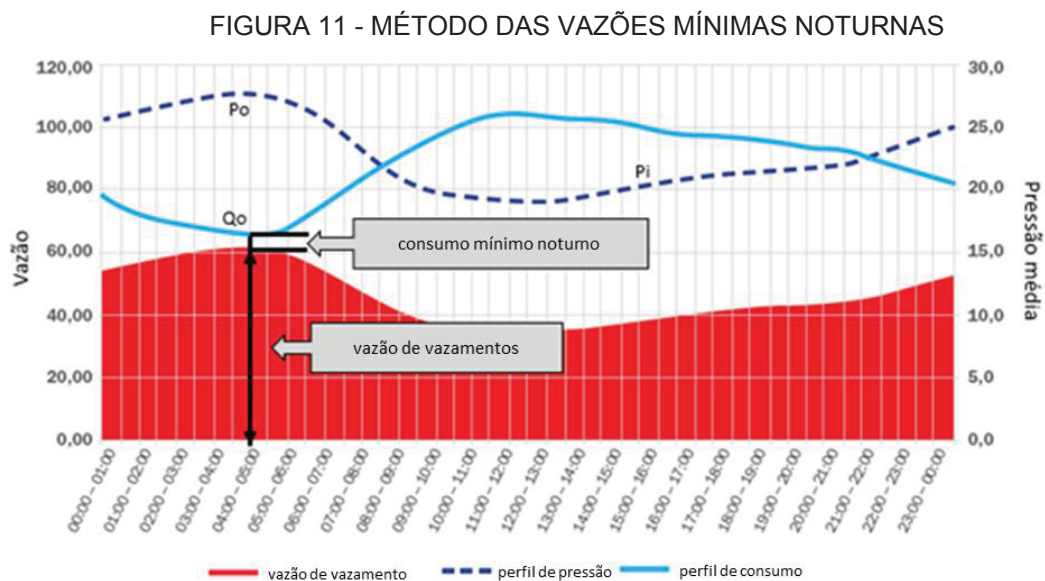
O consumo mínimo noturno<sup>7</sup> representa o total de água utilizada tanto por estabelecimentos domésticos quanto por não domésticos. Para a estimativa do consumo noturno doméstico, Hamilton e Mackenzie (2014) sugeriram considerar que apenas 6% da população do DMC está ativa durante a madrugada e acionando uma

---

<sup>7</sup> Consumo mínimo noturno também pode apresentar a terminologia consumo legítimo na literatura (CHISAKUTA et al., 2011; HAMILTON; MACKENZIE, 2014). Por questões de padronização, nesta dissertação foi utilizada apenas a terminologia consumo mínimo noturno.

vez a descarga de uma bacia sanitária a cada hora. Já a SABESP recomenda que o consumo noturno doméstico seja o total de habitantes do DMC multiplicado por 0,34 L/habitante.hora (SABESP, 2005). No caso do DMC possuir estabelecimentos não domésticos, deve-se fazer a leitura individual desses consumidores e somar ao consumo noturno doméstico (AESBE, 2015b).

A vazão de vazamentos é resultado da diferença entre a vazão mínima noturna e o consumo mínimo noturno. Entretanto, para extrapolar a vazão de vazamentos de uma hora para 24 horas, também deve ser monitorada a variação da pressão ao longo do dia (SOUSA, 2011). No exemplo ilustrado na FIGURA 11, o consumo ao longo das horas foi representado pela linha azul, onde a vazão mínima noturna (ponto Q<sub>0</sub>) ocorreu às 4h da madrugada. A variação da pressão ao longo do dia foi representada pela linha azul tracejada e a extrapolação da vazão de vazamentos foi representada pela área em vermelho.



FONTE: Adaptado de AESBE, 2015b.

A relação entre pressão-vazamento é dada pela equação (1), proveniente do método denominado *Fixed and Variable Area Discharges* (FAVAD) desenvolvida por Lambert (2001).

$$Q_f = Q_0 \times \left( \frac{P_f}{P_0} \right)^{N1} \quad (1)$$

Sendo:

Q<sub>f</sub> = Vazão final de vazamentos (m³/h);

Q<sub>0</sub> = Vazão inicial de vazamentos (m³/h);

P<sub>f</sub> = Pressão média final em um horário qualquer do dia (mca);



Po = Pressão média na hora que ocorre a vazão mínima noturna (mca);

N1 = coeficiente de vazamento (adimensional).

Para determinar a vazão de vazamentos diária, substitui-se a vazão inicial de vazamentos pela vazão mínima noturna na equação (1) e calcula-se o somatório das relações entre as pressões médias de cada horário com a pressão média da hora da vazão mínima noturna elevado ao coeficiente N1 (AL – WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

Segundo Lambert (2001), o coeficiente N1 depende do tipo de material da tubulação e pode variar de 0,5 a 1,5, podendo atingir 2,5. Entretanto Cassa e Van Zyl (2014) criticaram o coeficiente N1 por não representar de maneira eficiente a correlação pressão-vazamento, uma vez que para diferentes valores de expoente, obteve-se o mesmo resultado da vazão de vazamentos para diferentes pressões. Dessa forma, Cassa e Van Zyl (2014) propuseram um novo coeficiente, denominado NL, considerado mais consistente por Cassa e Van Zyl (2014), além de uma fórmula de conversão de N1 para NL, apresentada na equação (2).

$$NL = \frac{N1 - 0,5}{1,5 - N1} \quad (2)$$

Como apontado por Mutikanga (2012), o método das vazões mínimas possui algumas limitações como não apontar exatamente onde o vazamento acontece na rede e não ser muito efetivo para SAAs com intermitência no abastecimento. De fato, o método é aplicável em DMCs por serem áreas menores e mais fáceis de monitorar, além de serem áreas passíveis de isolamento, favorecendo a execução de reparos. Entretanto, não é possível identificar com exatidão qual o local do DMC está acontecendo o vazamento. Já a intermitência no abastecimento pode prejudicar a construção do perfil de consumo e perfil de pressão do método, uma vez que a interrupção pode ocorrer em qualquer faixa horária, inclusive na faixa prevista para o consumo mínimo (entre 2h e 4h da madrugada).

Nesse sentido, algumas pesquisas foram conduzidas de maneira a melhorar a avaliação das perdas por meio da abordagem *bottom-up*. Cheung et al. (2010) aplicaram os métodos *top down* e *bottom-up* em um DMC da cidade de Capinzal (SC) e compararam os resultados obtidos a um modelo hidráulico desenvolvido no software EPANET. Como conclusão, Cheung et al. (2010) apontaram que o modelo hidráulico



também pode ser utilizado como ferramenta para avaliar perdas reais, uma vez que os resultados entre os três métodos foram similares, com ressalva de que o modelo hidráulico deve ser calibrado adequadamente. Semelhantemente, Karadirek et al. (2012) utilizaram a vazão mínima noturna combinada a um modelo hidráulico no software EPANET para implementar válvulas redutoras de pressão em uma rede de distribuição de água em Antalya, Turquia.

Alkasseh et al. (2013), ao invés de utilizar um modelo hidráulico como Cheung et al. (2010) e Karadirek et al. (2012), utilizaram a vazão mínima noturna associada a uma modelagem estatística em Vale Kinta (Malásia) para verificar as perdas do sistema e averiguar quais eram as variáveis mais impactantes na vazão mínima noturna. A análise estatística revelou que as variáveis principais são o número de ligações, o comprimento das tubulações, o tempo de instalação do tubo e o tipo de material das tubulações.

Por outro lado, Farah e Shahrour (2017) realizaram o monitoramento de parâmetros hidráulicos em tempo real da rede de abastecimento de água da Universidade de Lille (França), que ao combinarem com o método da vazão mínima noturna e o balanço hídrico, conseguiram identificar vazamentos que não foram detectados pela pesquisa de vazamentos. Essa análise conjunta dos métodos resultou em uma redução de 36% no volume de água não faturada nos valores observados em Maio de 2015 e em Maio de 2016.

Tais estudos descritos anteriormente representam a tendência da criação de modelos híbridos que associam dois ou mais métodos a fim de compensar as respectivas limitações. A combinação dos métodos proporciona a obtenção de melhores resultados que se aproximam mais da realidade e, conseqüentemente, obtêm-se uma melhor avaliação e soluções para o sistema. Nesse trabalho, apenas o balanço hídrico será aplicado. A associação com outros métodos será sugerida nas recomendações de estudos futuros. Porém, independentemente do método de decomposição de perdas de água em SAA utilizado, é necessário calcular alguns indicadores e índices que estabeleçam a condição do SAA. Alguns desses indicadores e índices estão abordados no item 2.4.4.

#### 2.4.4 Indicadores e índice de perdas de água em SAA

Indicadores e índices são fundamentais e indispensáveis para avaliação de perdas dos sistemas de abastecimento de água. Conceitualmente, indicadores se distinguem de índices quanto ao nível de tratamento de dados brutos. Um indicador é um parâmetro que possibilita a percepção de informações sobre uma dada realidade (MITCHELL, 1996). Por outro lado, o conceito de índice envolve uma medida mais refinada e é proveniente de uma agregação de valores (SICHE et al., 2007).

Gouzee, Mazijn e Billharz (1995) fizeram uma distinção entre índice e indicador por meio de uma pirâmide segmentada em três partes: a base refere-se ao dado bruto, o nível intermediário aos indicadores e o topo pelos índices. Ou seja, segundo Gouzee, Mazijn e Billharz (1995), índices podem incorporar em seu cálculo os indicadores como variáveis, cujo valor final pode resultar em um parâmetro adimensional.

No contexto de serviços de abastecimento de água, Alegre et al. (2017) define indicadores como medidas da eficiência e da eficácia das entidades gestoras relativas à aspectos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento dos sistemas. Para Popova e Sharpanskykh (2010), os indicadores de perdas são parâmetros que refletem o estado e progresso da companhia, podendo ser qualitativos ou quantitativos. Sousa (2011) relata ainda que cada indicador expressa o nível do desempenho efetivamente atingido, tornando direta, transparente e simplificada a comparação entre objetivos de gestão e resultados obtidos.

A IWA padronizou uma série de indicadores e índices de perdas para sistemas de abastecimento de água por meio da publicação de um manual de melhores práticas para avaliação do desempenho de sistemas de abastecimento de água denominado *Performance Indicators for Water Supply Services – Manual of Best Practice*, cuja 3ª edição foi revisada em 2017 (ALEGRE et al., 2017).

A proposta da padronização de indicadores e índices proporciona condições necessárias ao gerenciamento das perdas, seja como ferramenta de planejamento e controle operacional, seja como instrumento de avaliação de desempenho (SOUSA, 2011). Dentre tais indicadores e índices, Tardelli Filho (2016) destaca os principais utilizados para avaliar os SAAs:

- indicador de perdas por ligação (IPL);
- índice de vazamentos da infraestrutura (IVI);

- indicador de perdas por extensão de rede (IPE);
- indicador percentual de perdas (IP).

#### 2.4.4.1 Indicador de perdas por ligação (IPL)

Este indicador é obtido dividindo-se o volume de perdas reais, aparentes ou totais pela quantidade de ligações do sistema, de acordo com a equação (3) (ALEGRE et al., 2017).

$$IPL = \frac{\text{Volume de perda} \times 1000}{N \times 365} \quad (3)$$

Sendo:

IPL = indicador de perdas por ligação (L/ligação.dia);

Volume de perda = volume de perdas reais, aparentes ou totais (m³/ano);

N = número de ligações (ligação).

Por questões de padronização, nessa dissertação a sigla IPLr refere-se ao indicador de perdas reais por ligação, o IPLa refere-se ao indicador de perdas aparentes por ligação e o IPLt refere-se ao indicador de perdas totais por ligação.

Segundo Tsutiya (2006), a deficiência desse indicador é que a pressão de operação do sistema não é considerada como uma variável na comparação do desempenho do sistema, a qual influencia o comportamento das perdas reais.

Em 2018, o Instituto Trata Brasil publicou um relatório denominado “Perdas de água: entraves ao avanço do saneamento básico e riscos de agravamento à escassez hídrica no Brasil” e considerou o valor de 250 L/ligação.dia como desempenho adequado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). Segundo os dados daquele relatório, um total de 100 municípios brasileiros (correspondendo a 21% do total da amostra) apresentaram um IPLt inferior a 250 L/ligação.dia; 41% ficaram entre 250,1 L/ligação.dia e 499,9 L/ligação.dia e 38% acima de 500 L/ligação.dia, sendo o máximo valor obtido de 1.609 L/ligação.dia em Porto Velho (RO).

Cabe destacar que, segundo Liemberger e Mckenzie (2005), um SAA de melhor categoria, denominado por Liemberger e Mckenzie (2005) de “A”, o IPL não deve ultrapassar 150 L/ligação.dia, considerando uma pressão média de 30 mca. No entanto, ao se utilizar esse indicador, deve-se considerar que existe um IPL ideal, também denominado IPL econômico ou nível econômico de perdas, sendo o máximo

valor a ser investido no controle de perdas, mas que não supere o custo da água que foi perdida e que depende de características específicas a cada DMC, como por exemplo pressão, volume micromedido, número de ligações e extensão da rede de distribuição. O nível econômico pode ser inclusive superior a 150 L/ligação.dia, que sob o ponto de vista de Liemberger e McKenzie (2005), o sistema não seria classificado como A (melhor categoria), porém sob o viés econômico, o sistema está em condições adequadas. O procedimento para a determinação do nível econômico de perdas adotado nessa dissertação está descrito no capítulo 3 (Material e Métodos).

#### 2.4.4.2 Índice de vazamentos da infraestrutura (IVI)

O índice de vazamento da infraestrutura (IVI), internacionalmente conhecido como ILI (*Infrastructure Leakage Index*), é um indicador adimensional e foi desenvolvido pela força tarefa da IWA em 1999 especificamente para comparações de desempenho técnico entre sistemas, no gerenciamento de vazamento (LAMBERT, 2009). Esse indicador ainda permanece na última versão do manual de boas práticas da IWA (Alegre et al., 2017) e é calculado conforme a equação (4) (ALEGRE et al., 2017).

$$IVI = \frac{IPLr}{PRI} \quad (4)$$

Sendo:

IVI = índice de vazamentos da infraestrutura (adimensional);

IPLr = indicador de perdas reais por ligação (L/ligação.dia);

PRI = perdas reais inevitáveis (L/ligação.dia) e é calculado pela equação (5) (ALEGRE et al., 2017).

$$PRI = \left( 18 \times \frac{Lm}{N} + 0,8 + 25 \times Lp \right) \times \frac{P}{10} \quad (5)$$

Sendo:

PRI = perdas reais inevitáveis (L/ligação.dia);

Lm = extensão da rede de distribuição (km);

N = número de ligações (ligação);

P = pressão média de operação da rede de distribuição (kPa);

Lp = distância média entre os ramais prediais e o alinhamento predial (m)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Segundo Sousa (2011), o parâmetro Lp pode ser considerado igual a zero no Brasil, uma vez que a maioria dos hidrômetros são instalados no alinhamento predial.

Sendo o IVI um índice de vazamentos, foi proposto por Liemberger e Mckenzie (2005) uma categorização dos valores do IVI, denominado de categoria de desempenho técnico do SAA em função do indicador IPLr, considerando diferentes faixas de pressão e desenvolvimento dos países. A categorização proposta por Liemberger e Mckenzie (2005) estão apresentadas no QUADRO 4.

QUADRO 4 - CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO DO SAA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI)

CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO	IVI*	IPLr (L/LIGAÇÃO.DIA) POR FAIXAS DE PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA				
		10 mca	20 mca	30 mca	40 mca	50 mca
Países Desenvolvidos	A 1 - 2	-	< 50	< 75	< 100	< 125
	B 2 - 4	-	50 -100	75 -150	100 -200	125 -250
	C 4 - 8	-	100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	D > 8	-	> 200	> 300	> 400	> 500
Países em Desenvolvimento	A 1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B 4 - 8	50 -100	100 -200	150 -300	200 -400	250 -500
	C 8 - 16	100 - 200	200 - 400	300 - 600	400 - 800	500 - 1000
	D > 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

FONTE: Adaptado de Liemberger e Mckenzie (2005).

Obs.: \* Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI)

Conforme o enquadramento do sistema (A, B, C ou D), algumas recomendações gerais foram feitas por Lambert et al. (2014) para melhoria do SAA, conforme indicado no QUADRO 5. Destaca-se que a Lambert et al. (2014) indica na categoria A que a redução adicional de perdas pode trazer prejuízos para a companhia em termos financeiros.

QUADRO 5 - PROPOSTAS PARA MELHORIA DO SAA SEGUNDO LAMBERT (TRADUÇÃO LIVRE)

CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO	RECOMENDAÇÕES PARA SAA
A	A redução adicional de perdas pode ser antieconômica, a menos que haja escassez. Necessária análise cuidadosa para identificar melhorias para o sistema.
B	Potencial para melhorias no SAA. Considerar o gerenciamento de pressão, melhores práticas de controle de vazamento ativo e melhor manutenção de rede.
C	Registro de vazamento ruim. Nível tolerável apenas se a água for abundante e barata; mesmo assim, faz-se necessário a análise do nível e da natureza do vazamento. Intensificar esforços para a redução de vazamentos.
D	Utilização muito ineficiente de recursos. Faz-se necessário implantação de programas para a redução de vazamento de água, com prioridade alta.

FONTE: Lambert et al. (2014).

#### 2.4.4.3 Indicador de perdas por extensão de rede (IPE)

O indicador de perdas por extensão de rede relaciona o volume anual perdido com a extensão da rede de distribuição de água existente e o tempo de pressurização do sistema, conforme a equação (6) (ALEGRE et al., 2017).

$$IPE = \frac{\text{Volume de perda}}{L_m \times \frac{tp}{24} \times 365} \quad (6)$$

Sendo:

IPE = indicador de perdas por extensão de rede (m³/km.dia);

Volume de perda = volume de perdas reais ou totais (m³/ano);

L<sub>m</sub> = extensão da rede de distribuição de água (km);

tp = tempo de pressurização no sistema (horas).

É recomendado o seu uso em redes com densidade inferior a 20 ligações por quilômetro de rede (VICENTINI, 2012) e pode ser calculado tanto para o volume anual de perdas reais como para o volume anual de perdas aparentes.

#### 2.4.4.4 Indicador percentual de perdas (IP)

O indicador percentual não tem sido mais utilizado para avaliação de perdas no sistema porque não há qualquer base técnica que o suporte (AESBE, 2015b). Liemberger (2002) já havia destacado que este indicador não deve ser usado para fins de comparação ou estabelecimento de metas. Sua simplicidade de cálculo, desconsiderando parâmetros técnicos, envolvendo apenas o volume de entrada e o volume micromedido, conforme demonstrado na equação (7) e não consegue descrever a complexidade do sistema.

$$IP = \frac{\text{Volume de entrada} - \text{Volume micromedido}}{\text{Volume de entrada}} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

IP = indicador percentual de perdas (%);

Volume de entrada = volume de entrada no SAA (m³/ano);

Volume micromedido = volume total de água que foi utilizado pelos consumidores (m³/ano).

Merks (2017) apresentou que 109 profissionais da área, pertencentes a 22 países, já haviam abandonado o indicador de porcentagem do volume de entrada por ser enganoso no sentido de definição de metas e controle do gerenciamento, nas comparações de eficiência técnica de gerenciamento e nas conclusões gerais sobre a gestão de perdas.

Mesmo assim, a 3ª edição publicada em 2017 do Manual de Boas Práticas da IWA: Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água (*IWA Manual of Best Practice: Performance Indicators for Water Supply Services*) ainda recomenda o IP como indicador de desempenho financeiro e econômico (ALEGRE et al., 2017).

#### 2.4.4.5 Aplicações dos indicadores e índices de perdas de água para diferentes países

Foram selecionadas algumas pesquisas que consideram os indicadores e índices discutidos anteriormente, nos últimos 11 anos e em diferentes países, cujos resultados estão apresentados no QUADRO 6.

Considerando o IPLr, observa-se no QUADRO 6 que os valores variam de 34 L/ligação.dia a 2.940 L/ligação.dia, sendo que a cidade de Odense, na Dinamarca, possui o menor IPLr e o centro da Bosnia-Herzegovina possui o maior, podendo chegar a 2.940 L/ligação.dia, sendo que ambos países pertencem a Europa.

Entretanto, mesmo a Europa sendo identificada por países de economia avançada, existem condições de contraste entre os países. Essa condição de contraste também é corroborada por meio da aplicação da categorização sugerida por Liemberger e Mckenzie (2005) no QUADRO 6. Além da Bosnia-Herzegovina, outros países europeus como Grécia e Sérvia, foram categorizados de C a D e se aproximaram de valores de IVI encontrados na Índia, distinguindo acentuadamente de países como Dinamarca, Bélgica e Inglaterra, categorizados como A. Uma provável justificativa dessa realidade é devido ao nível de desenvolvimento dos países ser diferente.

QUADRO 6 - APLICAÇÕES DO INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO (IPLr), ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI) E INDICADOR DE PERDAS POR EXTENSÃO (IPE)

REFERÊNCIA	LOCALIDADE	IPLr (L/ligação.dia)	IVI (adimensional)	CATEGORI- ZAÇÃO DO IVI (*)	IPE (m³/km.dia)
Vučijak et al., 2013	região central da Bosnia- Herzegovina	405 a 2.940	5,2 a 37,9	B a D	N/D
Radivojević et al., 2008	Pirot (Sérvia)	536	10,1	C	N/D
Sayers et al., 2016	27 cidades dos Estados Unidos da América	314,9	4	B	N/D
Lesyshen, 2013	Nanaimo (Canadá)	166,72	1,54	A	N/D
Bureau of Meteorology, 2018	79 concessionárias da Austrália	82	N/D	-	N/D
União Europeia, 2015	Dryanovo e Razgrad Pilots (Bulgária)	340 e 2.470	5,8 e 41	B a D	13,1 e 112
	Scottish Water (Escócia)	249	4	B	11
	Reggio Emilia (Itália)	246	2,5	B	4,7
	Munique (Alemanha)	243	2,6	B	9,4
	Pula (Croácia)	183	2,9	A	5
	Lisboa (Portugal)	178	N/D	-	10,8
	Lemesos (Chipre)	127	2,5	B	6,6
	Anglian Water (Inglaterra)	105	1,5	A	5,1
	Bordeaux (França)	103	2,5	B	6,7
	Salzburg (Áustria)	84	1,1	A	3,1
	Malta WSC (Malta)	78	2,1	B	4,7
	De Watergroep (Bélgica)	70	1,3	A	2,5
	Odense (Dinamarca)	34	0,7	A	1,1
Kanakoudis et al., 2015	8 cidades de pertencentes a Espanha, França, Grécia, Itália e Chipre	N/D	1,9 a 17,9	A a D	N/D
Gurav; Cornelio e Kawamoto, 2018	Região da Índia (não especificada)	N/D	20	D	N/D
Petroulias, Foufeas e Bougoulia, 2016	Horisti (Grécia)	N/D	20	D	N/D

FONTE: Autora (2019).

Nota: (\*) Categorização do IVI segundo Liemberger e Mckenzie (2005).

Quanto aos países desenvolvidos, como por exemplo Dinamarca, Bélgica, Malta, entre outros, esses possuem uma infraestrutura já concebida e práticas operacionais que promovem de maneira mais eficaz o controle de perdas, o que consequentemente faz com que alcancem menores valores de indicadores (USAID,



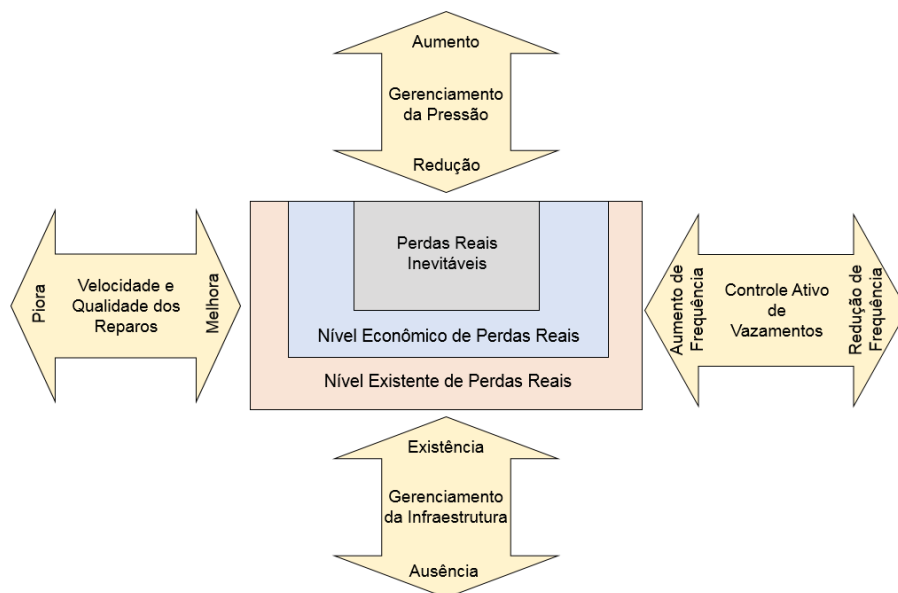
2010). Já países em desenvolvimento ainda lutam para conseguir implantar uma infraestrutura adequada que consiga universalizar o acesso a água potável para os consumidores. Portanto, pode-se entender que o nível de desenvolvimento do país interfere expressivamente nas condições de perdas dos respectivos SAAs, especialmente das perdas reais.

#### 2.4.5 Ações para controle e redução de perdas reais e aparentes

##### 2.4.5.1 Perdas reais

A partir da identificação das causas e locais dos vazamentos, é possível tomar medidas e ações para controle e redução de perdas. Segundo Lambert e Hirner (2000), o controle de perdas reais pode ser alcançado por meio da aplicação de quatro ações básicas: (a) gerenciamento de pressão, (b) controle ativo de vazamentos, (c) velocidade e qualidade dos reparos e (d) gerenciamento da infraestrutura, conforme ilustra a FIGURA 12. Atualmente, tais ações ainda são empregadas em sistemas de abastecimento de água para a gestão de perdas (GUPTA; KULAT, 2018).

FIGURA 12 - COMPONENTES DO CONTROLE DE PERDAS REAIS



FONTE: Adaptado de Lambert e Hirner (2000).

A FIGURA 12 é conhecida na literatura como diagrama de 4 pilares (ou em inglês, *4-Pillars diagram*), o retângulo central externo representa o nível existente de perdas reais do sistema, ou seja, o volume anual de perdas reais. Esse retângulo

central externo é cercado pelas quatro ações elencadas por Lambert e Hirner (2000) que uma concessionária pode executar a fim de promover a redução de perdas reais e “encolher” o retângulo. Caso as estratégias de combate às perdas aparentes não sejam aplicadas, o nível das respectivas perdas poderá aumentar. Essa “elasticidade” das perdas do sistema é representada pelas setas.

No interior do nível existente de perdas reais existem dois outros retângulos menores: o nível econômico de perdas reais e as perdas reais inevitáveis. As perdas reais inevitáveis representam o menor nível que o sistema poderia atingir se todos os esforços pudessem ser direcionados para conter perdas, independentemente do custo (AWWA, 2016). Entretanto, alcançar este nível implica em grandes investimentos que são inviáveis economicamente para a concessionária (LIM; SAVIC; KAPELAN, 2015). Assim, o nível econômico das perdas reais é o ponto de equilíbrio entre o que deve ser investido e o que pode ser perdido. Entende-se, portanto, que o nível econômico deve ser a meta de redução das concessionárias.

As quatro ações propostas por Lambert e Hirner (2000) estão descritas nos itens a seguir, sendo: gerenciamento de pressão, controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos e gerenciamento da infraestrutura.

#### a) Gerenciamento de pressão

O controle de pressão na rede é considerado uma eficiente estratégia de redução de vazamentos, pois a redução na pressão da água pode ser traduzida na redução do volume de vazamentos (XU; CHEN; MA, 2014).

Walski et al. (2006) utilizou um modelo computacional para verificar a influência da redução da pressão em vazamentos. Walski et al. (2006) concluiu que reduzindo a pressão durante o horário de pico pode não ser uma solução viável para o controle de vazamentos, pois isso pode causar deficiência de pressão na rede de água, sugerindo então a utilização de inversores de frequência<sup>9</sup> na bomba para contornar o problema.

Nazif et al. (2010) propuseram um modelo de otimização baseado em algoritmo genético (AG) para verificar as variações de nível de água ideais por hora em um reservatório em Tehran (Irã), a fim de minimizar o nível de vazamento. A partir do nível

---

<sup>9</sup> Segundo Gupta e Kulat (2018), define-se inversores de frequência de bombas como equipamentos que permitem a redução do excesso de pressão na rede de distribuição por meio do controle da velocidade da bomba. Consequentemente, há a redução de vazamentos durante horários de menor consumo porque a pressão do sistema é reduzida.

ideal do reservatório, fornecido pelo AG, os pesquisadores analisaram as pressões e as perdas nos nós da rede. O resultado alcançado foi a redução em 6% nos vazamentos.

Bakker et al. (2014) utilizou uma técnica de controle dinâmico de pressão no sistema de Gruszczyn (Polônia) que resultou numa redução de 29% na altura manométrica da bomba, 20% nos vazamentos e aumento de receita devido à redução de energia consumida de € 21.500, equivalente a aproximadamente R\$ 67 mil (sendo o ano de referência 2014).

Gupta e Kulat (2018) apresentaram um método usando válvulas redutoras de pressão para redução de vazamentos em redes de distribuição de água. O método sugerido foi dividido em duas partes. Os pesquisadores utilizaram um software denominado NSGA-II para primeiramente determinar a pressão otimizada da válvula e depois para minimizar a taxa de vazamento. Os resultados mostraram que a taxa de vazamento foi reduzida em 6,15 L/s, correspondendo a uma redução de 20,82% do valor original.

Logo, os benefícios alcançados pelo controle de pressão na rede podem ser a redução dos vazamentos inerentes, a redução no risco de novos vazamentos e redução de rompimentos, devido a redução da fadiga (SAMIR et al., 2017) e prolongamento da vida útil da tubulação (XU; CHEN; MA, 2014).

#### b) Controle ativo de vazamentos

TSUTIYA (2006) considera o controle ativo como sendo as intervenções periódicas de pesquisa de vazamentos em tubulações enterradas, mediante uso de equipamentos acústicos de detecção e, na sequência, as respectivas reparações. De maneira mais genérica, os pesquisadores Puust, Kapelan e Savic (2010) consideram o controle ativo de vazamentos como política e processos de gestão utilizados para localizar e reparar vazamentos não relatados do SAA. Existem também técnicas não acústicas para se determinar a localização de vazamentos, como a injeção de gás, a utilização de radares e o uso das imagens térmicas (HAMILTON; CHARALAMBOUS, 2012).

Uma revisão sobre técnicas acústicas de pesquisas de vazamentos foi realizada por Yazdekhesti et al. (2018). Como conclusão, Yazdekhesti et al. (2018) apontaram que a utilização de geofones e correlacionadores de ruído são considerados eficientes para pesquisas de vazamentos em tubulações metálicas com

diâmetro inferior a 300mm. Já para tubulações metálicas com diâmetros superiores a 300mm, para tubulações de PVC ou outro material plástico com diâmetros inferiores a 300mm e tubulações de concreto foi recomendado o uso de técnicas acústicas como *free-swimming ball*<sup>10</sup> e *tethered acoustic*<sup>11</sup> por terem uma melhor resposta em relação a geofones e correlacionadores de ruído.

As técnicas de pesquisas não-acústicas podem ser encontradas em Liu e Kleiner (2013). Os autores discutiram o uso de sensores para inspeção, monitoramento e avaliação de tubulações de água. Como conclusão, destacaram que a aplicação de sensores ainda se restringe a tubulações principais e também a confiabilidades dos sensores ainda é duvidosa.

Hamilton e Charalambous (2013) apresentaram um guia completo sobre as inovações de métodos de pesquisas de vazamentos. Destaca-se a criação de quatro matrizes para escolha da pesquisa de vazamento que correlacionam o tipo de material da tubulação e o diâmetro. Cada matriz corresponde a uma condição do sistema: para tubulações sem distribuição em marcha com pressões superiores a 10 mca, para tubulações sem distribuição em marcha com pressões inferiores a 10 mca, para localização de vazamentos em tubulações com distribuição em marcha com pressões superiores a 10 mca e para localização de vazamentos em tubulações com distribuição em marcha com pressões inferiores a 10 mca.

Khader (2016) utilizou dois métodos para detectar vazamentos em redes de água: *Ground Penetrating Radar* (GPR) e imagens térmicas. A função da primeira técnica é determinar a localização do tubo, a segunda para determinar a localização do vazamento. Khader (2016) concluiu que a associação entre os dois métodos teve maior precisão (94,4% a 97,1%) quando a altura da câmera era de 2 metros abaixo do solo e a velocidade do GPR de 6 km/hora, aproximadamente.

Com respeito a eficiência de um programa de controle ativo de vazamentos, Arikawa (2005) comenta que esta depende da frequência da pesquisa, das vazões de perdas, do tempo de duração dos vazamentos e da visão do administrador quanto à viabilidade econômica em dar continuidade às atividades de pesquisa. Ainda para Arikawa (2005), o monitoramento contínuo das vazões é importante para o controle

---

<sup>10</sup> O *free-swimming ball* consiste em uma bola de espuma cujo núcleo possui sensores que registram o ruído provocado pelo vazamento (YAZDEKHASTI et al., 2018).

<sup>11</sup> O *tethered acoustic* é um sensor preso a uma corda lançada na tubulação pelo operador (YAZDEKHASTI et al., 2018).

ativo de vazamentos, uma vez que possibilita analisar acréscimo ou decréscimo da mínima vazão noturna para um dado período de observação, ou aumentos abruptos da vazão mínima vazão noturna, indicando a existência de rupturas em determinada área de controle.

#### c) Velocidade e qualidade dos reparos

Vicentini (2012) comenta que após a identificação de um vazamento, o tempo gasto para sua efetiva localização e seu estancamento é um ponto crucial do gerenciamento de perdas reais. Vicentini (2012) ainda discute que além da agilidade dos serviços, é importante assegurar a qualidade do reparo, para que o mesmo não seja reincidente. Palau, Arregui e Carlos (2012) complementa relatando que muitas vezes o tempo de reparo tem maior relação com questões de organização e disponibilidade de recursos financeiros, do que com questões técnicas.

#### d) Gerenciamento da infraestrutura

O gerenciamento de infraestrutura está diretamente ligado ao conhecimento das condições da malha da rede de distribuição de água, sendo imprescindível dados como idade, materiais, instalação de novos equipamentos, manutenções realizadas na rede de distribuição, procedimentos de trabalho e treinamentos (MELATO, 2010). Objetivando prolongar a vida útil da tubulação, devem ser executadas atividades como manutenções periódicas, controle da corrosão e, quando necessária, substituição da tubulação para combate às perdas.

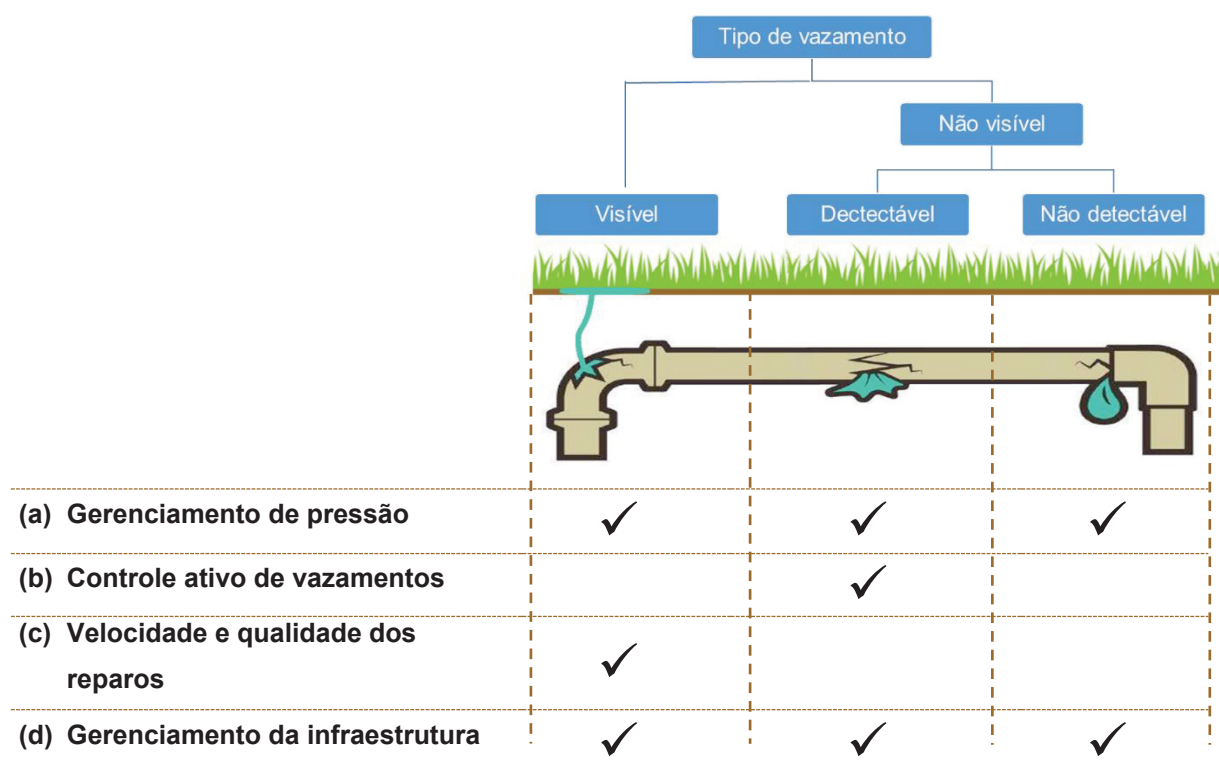
Kanakoudis e Tolikas (2001) elaboraram um método que calcula o tempo de substituição ideal de tubulações, a qual foi aplicada em um estudo de caso realizado por Pelletier, Mailhot e Villeneuve (2003). Jowitt e Xu (1993), Kanakoudis (2004), Kanakoudis e Tolikas (2004) e Makropoulos e Butler (2005) também fornecem exemplos de métodos para a determinação do tempo ideal de substituição das tubulações.

Entretanto, Arikawa (2005) comenta que as ações (a) gerenciamento de pressão, (b) controle ativo de vazamentos e (c) velocidade e qualidade dos reparos são menos onerosas que a substituição de tubulações e que o mesmo só deve ser realizado quando forem observados a permanência de elevados indicadores e índice de perdas.

e) Resumo de ações de combate a perdas reais

De acordo com Lambert e Hirner (2000), o controle de perdas reais pode ser alcançado por meio da aplicação de quatro ações básicas: (a) gerenciamento de pressão, (b) controle ativo de vazamentos, (c) velocidade e qualidade dos reparos e (d) gerenciamento da infraestrutura. As ações para o controle e a redução de perdas reais propostas por Lambert e Hirner (2000) deve ser aplicada de acordo com o tipo de vazamento existente, conforme apresentado na FIGURA 13.

FIGURA 13 - SÍNTESE DAS AÇÕES PARA O CONTROLE E A REDUÇÃO DE PERDAS REAIS



FONTE: Autora (2019).

Obs.: Ilustração das conexões extraída de Sorasee (2018).

Verifica-se na FIGURA 13 que existem três tipos de vazamentos. Dependendo do tipo de vazamento, algumas ações podem-se ser adotadas. No caso de vazamentos visíveis, não é necessário o controle ativo de vazamentos, uma vez que a pesquisa é feita para detectar vazamentos não aflorantes (não visíveis e detectáveis). O controle ativo de vazamentos não é eficiente para vazamentos não visíveis e não detectáveis porque a magnitude desse tipo de vazamento não é captada pelo equipamento.

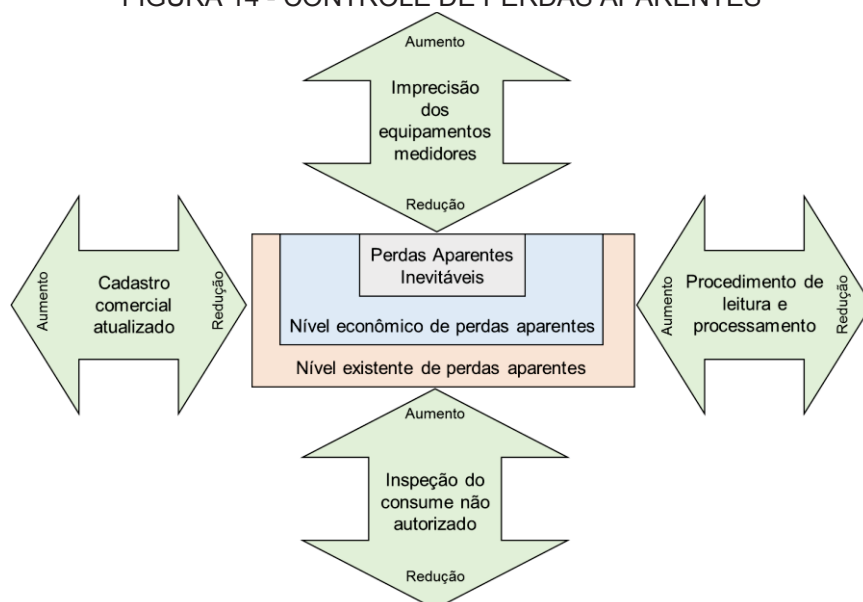
Em relação a velocidade e qualidade dos reparos, essa deve ser realizada de maneira mais intensa em vazamentos visíveis. Isso porque a magnitude da vazão dos vazamentos visíveis é superior aos vazamentos não visíveis. Logo, quanto menor o tempo para reparo e melhor a qualidade dos materiais utilizados, menor o volume perdido e menor a probabilidade de reincidência.

Assim, com base na FIGURA 13, observa-se que as ações (a) gerenciamento de pressão e (d) gerenciamento da infraestrutura são as mais efetivas, uma vez que abrangem todos os tipos de vazamentos.

#### 2.4.5.2 Perdas aparentes

De maneira semelhante as perdas reais (vazamentos propriamente ditos), as perdas aparentes (água consumida, mas não faturada) também possuem ações para controle e redução. O guia americano de controle de perdas considera que o controle de perdas aparentes pode ocorrer por meio de quatro ações: (a) imprecisão dos equipamentos medidores, (b) procedimento de leitura e processamento, (c) inspeção do consumo não autorizado e (d) cadastro comercial atualizado (AWWA, 2016), conforme o esquema apresentado na FIGURA 14.

FIGURA 14 - CONTROLE DE PERDAS APARENTES



FONTE: Adaptado de ABES (2015).

Na FIGURA 14, o retângulo central externo representa o nível existente de perdas aparentes do sistema, ou seja, o volume anual de perdas aparentes. Esse



retângulo central externo é cercado por quatro ações de controle, indicando as atividades que uma concessionária pode executar a fim de promover a redução de perdas aparentes e “encolher” o retângulo. Caso as estratégias de combate às perdas aparentes não sejam aplicadas, o nível das respectivas perdas poderá aumentar. Essa “elasticidade” das perdas do sistema é representada pelas setas.

No interior do nível existente de perdas aparentes existem dois outros retângulos menores: o nível econômico de perdas aparentes e as perdas aparentes inevitáveis. Assim como as perdas reais inevitáveis, as perdas aparentes inevitáveis representam o menor o nível que o sistema poderia ser atingir. Entretanto, por não ser viável economicamente para a concessionária, deve-se optar por atingir o nível econômico das perdas aparentes. Tal ponto é o ponto de equilíbrio entre o que deve ser investido e o que pode ser perdido em termos de faturamento. As quatro estratégias propostas por AWWA (2016) estão descritas nos itens a seguir, sendo: imprecisão dos equipamentos medidores, procedimento de leitura e processamento, inspeção do consumo não autorizado e cadastro comercial atualizado.

#### a) Imprecisão dos equipamentos medidores

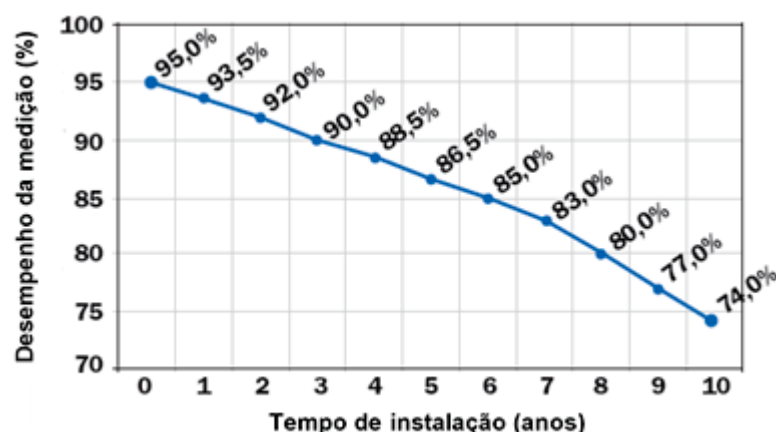
Os medidores podem apresentar uma imprecisão intrínseca que varia de acordo com o tipo de medidor. Segundo Tsutiya (2006), um medidor bem instalado e operando em condições de vazão adequadas, apresenta uma faixa de variação da precisão entre 0,5% e 2%, para mais ou para menos. Por outro lado, medidores do tipo ultrassônico possuem um melhor desempenho de medição de vazão em relação ao medidor velocimétrico, por exemplo. Enquanto o medidor velocimétrico possui uma turbina interna que gira conforme a velocidade da água, o medidor ultrassônico faz a leitura de vazão por meio de ondas ultrassônicas que atravessam o fluido, sem interferir no fluxo, o que torna a medição mais precisa e com submedição nula.

Para os demais modelos, a submedição do conjunto dos hidrômetros de um sistema é estimada conforme a norma ABNT NBR 15538:2014 – Medidores de água potável –, onde utiliza-se o método denominado curva de desempenho da medição (ABNT, 2014). Esta curva relaciona a eficiência média da medição dos hidrômetros em função do tempo de instalação.

Em 2015, a AESBE (2015a) realizou um estudo baseado em testes de bancada de hidrômetros de classe B, das companhias de saneamento de Minas Gerais, Paraná

e Distrito Federal, que aplicou o método da curva de desempenho e obteve como resultado os dados apresentados na FIGURA 15. Ao contrário do decaimento anual de 1% proposto por Tsutiya (2006), pode-se observar que: (a) um hidrômetro novo, com até um ano de instalação, apresenta uma redução de 5% na leitura da vazão; (b) um hidrômetro de até dois anos, 6,5% de redução; (c) um hidrômetro entre dois e três anos, 8%; e segue aumentando com o tempo de instalação.

FIGURA 15 - CURVA DE DESEMPENHO PARA HIDRÔMETROS



FONTE: AESBE (2015a).

Nielsen et al. (2003) também sugeriram curvas do desempenho em função do tempo de instalação para hidrômetros classe A, B e C, baseadas em levantamentos de campo e laboratório, em ligações de água com consumos mensais de 0 até 30 m<sup>3</sup>.

A norma em vigor que rege a classificação dos hidrômetros é a ABNT NBR NM 212:1999 (ABNT, 1999), onde os hidrômetros podem ser classificados em A, B e C, de acordo com as vazões mínimas e de transição dos hidrômetros, sendo a vazão mínima a menor vazão que o medidor consegue registrar, com um erro máximo de  $\pm 5\%$ . A vazão de transição encontra-se acima da vazão mínima e corresponde a 5% da vazão máxima (ABNT, 1999). Assim, por exemplo, os medidores com vazão permanente<sup>12</sup> de 1,5 m<sup>3</sup>/h podem ser classificados segundo a vazão mínima e de transição como:

- Classe A: operam com vazão mínima de 40 L/h e vazão de transição de 150 L/h (ABNT, 1999);

<sup>12</sup> Vazão permanente (também denominada nominal) é a vazão até a qual o medidor funciona de forma satisfatória, sob condições normais de uso (ABNT, 1999).

- Classe B: operam com vazão mínima de 30 L/h e vazão de transição de 120 L/h (ABNT, 1999).
- Classe C: operam com vazão mínima de 15 L/h e vazão de transição de 22,5 L/h (ABNT, 1999).

#### b) Procedimento de leitura e processamento

Conforme Vincentini (2012), o procedimento de leitura e processamento está relacionado com a seleção e o treinamento adequado dos profissionais que fazem as leituras dos hidrômetros, de maneira a reduzir erros e melhorar a percepção de eventuais problemas na ligação (como fraudes). Já para Mutikanga, Sharma e Vairavamoorthy (2010), os erros também podem surgir no processo de transmissão ou captura dos dados do hidrômetro para banco de dados de faturamento. Nesses casos, Mutikanga, Sharma e Vairavamoorthy (2010) sugerem a análise do histórico do consumo do usuário como solução para tais erros de transmissão.

#### c) Inspeção do consumo não autorizado

De acordo com Arikawa (2005), a redução de fraudes envolve as ações de inspeção de ligações suspeitas de haver interferência na contabilização do consumo de água e medidas de coibição dessa prática. Essas medidas podem ser feitas por meio de campanhas de esclarecimento, instalação de dispositivos de segurança como lacres anti-fraudes, além de denúncias da própria população e avaliação do histórico de consumo da economia.

Por outro lado, existem métodos para detecção de fraudes em sistemas de distribuição de água com base em medições de pressão e algoritmos específicos (LIGGETT; CHEN, 1994), além da análise de transiente hidráulico também possibilitar a sua localização (MENICONI et al., 2011). Entretanto, a eficácia do método utilizando transientes hidráulicos para detecção de fraudes é duvidosa, devido à complexidade das redes de distribuição e a dificuldade na diferenciação entre transientes causados pelo uso ilegal e consumo mínimo noturno (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

A FIGURA 16 ilustra um hidrômetro com o disco indicador de volume fraudado. Esse disco é responsável pela contabilização da passagem de água pelo hidrômetro. A FIGURA 17 apresenta uma derivação (by-pass) irregular no hidrômetro, além de

outra derivação irregular de tubulação a montante do hidrômetro (conexão branca indicada pela seta branca).

FIGURA 16 - HIDRÔMETRO COM O DISCO INDICADOR DE VOLUME FRAUDADO



FONTE: Portal G1 (2012).

FIGURA 17 - HIDRÔMETRO FRAUDADO POR BY-PASS



FONTE: Portal Prefeitura de Santo André (2018).

#### d) Cadastro comercial atualizado

O acompanhamento da operadora no monitoramento de falhas do cadastro comercial é uma ferramenta essencial no combate à perda de faturamento. Tsutiya (2006) comenta que muitas vezes uma nova ligação de água demora a ser contabilizada no sistema comercial, gerando prejuízo a concessionária.

Vicentini (2012) também comenta que podem ocorrer falhas de comunicação entre os usuários e a concessionária, especialmente quando ocorre a alteração do uso da ligação como, por exemplo, a alteração de uma ligação residencial para comercial. Nesse caso, sendo detectado o problema e executado o correto cadastramento, o ganho financeiro decorre da correta aplicação da tarifa de água.

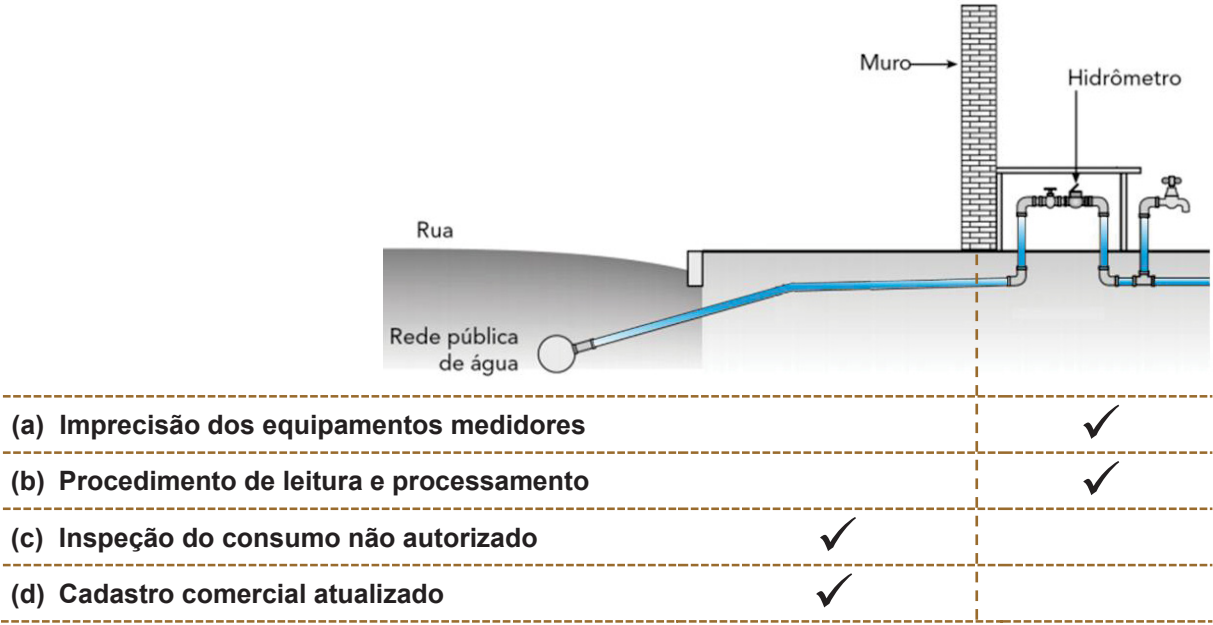
A detecção de falhas no cadastro pode ser realizada em campo e por isso a AWWA (2016) recomenda que devem ser feitas pesquisas contínuas no SAA, a fim de identificar possíveis ligações não cadastradas ou que foram reativadas sem a ciência da concessionária.

#### f) Resumo de ações de combate a perdas aparentes

Segundo AWWA (2016), existem quatro ações para o controle de perdas aparentes: (a) imprecisão dos equipamentos medidores, (b) procedimento de leitura e processamento, (c) inspeção do consumo não autorizado e (d) cadastro comercial atualizado. Cada ação deve ser aplicada na rede de distribuição ou no ramal predial. As ações para o controle e a redução de perdas aparentes propostas por AWWA

(2016) e a correlação com a rede de distribuição e ramal predial foram sintetizadas na FIGURA 18, onde verifica-se que o foco do controle e combate de perdas aparentes no âmbito do ramal predial atentam para a sua respectiva correção da submedição. Deve-se reduzir a imprecisão dos equipamentos medidores por meio de ações como o correto dimensionamento do hidrômetro, a previsão de trocas periódicas de hidrômetros e também observar cuidados recomendados na sua instalação, especialmente quanto a inclinação do hidrômetro (LAMBERT et al., 2016). A imprecisão de medidores também ocorre na macromedicação<sup>13</sup>, porém, a análise da macromedicação não está contemplada nesta dissertação, sendo sugerida em estudos futuros. Além disso, o ramal predial também está relacionado com o procedimento de leitura e processamento. Deve-se dispor de uma equipe técnica bem treinada que possa executar de forma adequada a transmissão de dados e minimizar eventuais falhas.

FIGURA 18 - SÍNTESE DAS AÇÕES PARA O CONTROLE E A REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES



FONTE: Autora (2019).

Obs.: Ilustração adaptada de Botelho e Ribeiro JR (2013).

<sup>13</sup> Conceitua-se macromedicação como o conjunto de medições de vazão, pressão e nível de reservatórios (TSUTIYA, 2006).

Já na rede de distribuição, as ações de combate às perdas aparentes envolvem a inspeção do consumo não autorizado, que estão relacionadas a localização de ligações clandestinas e fraudes (ARIKAWA, 2005). Cabe salientar também a necessidade da constante atualização do cadastro comercial da rede, a fim de haver a correta contabilização dos consumos de água e o seu respectivo faturamento.

## 2.5 NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS

Ao longo da década de 70 e 80, a meta de redução de perdas reais a ser atingida se baseava no alcance das perdas reais inevitáveis (PRI). O valor da PRI representa o menor valor de perda real que o sistema apresentará mesmo que não haja restrições econômicas e financeiras por parte da concessionária (LAMBERT et al., 1999). Entretanto, diferentes valores de PRI foram determinados por autores, conforme observados na TABELA 2. Comparativamente, os valores da TABELA 2 são muito superiores a estudos mais recentes, que apontam valores de PRI próximo a 0,5 m³/km.dia (LAMBERT, 2009).

TABELA 2 – VALORES DE PERDAS REAIS INEVITÁVEIS NA DÉCADA DE 70 E 80

AUTOR	PERDA REAL INEVITÁVEL (PRI) (m³/km.dia)	ANO
Howe	2,3	1971 <sup>14</sup> , apud WYATT, 2010
Holtschulte	2,4	1989 <sup>15</sup> , apud WYATT, 2010
Hudson	2,3 a 6,9	1978 <sup>16</sup> , apud WYATT, 2010
Wallace	3,4 a 6,0	1987 <sup>17</sup> , apud WYATT, 2010

FONTE: Autora (2019).

Entretanto, como já apresentado anteriormente, o PRI não é economicamente viável para a concessionária. Assim, iniciou-se uma nova abordagem de metas de

<sup>14</sup> Howe, C. W. Savings recommendations with regard to water-system losses. Journal of the American Water Works Association, v. 63, p. 284–286, 1971.

<sup>15</sup> Holtschulte, H. Causes and assessment of water losses. Journal of the International Water Supply Association. 1989.

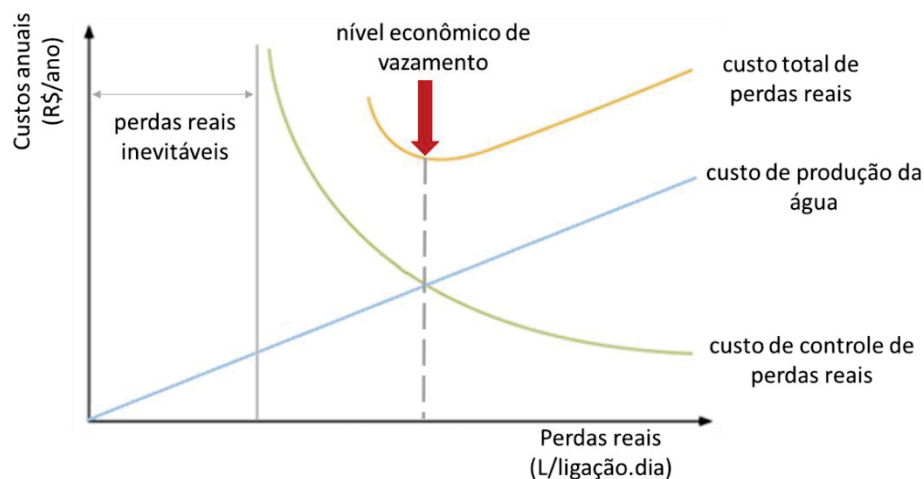
<sup>16</sup> Hudson, W. D. Increasing water system efficiency through control of unaccounted-forwater. Journal of the American Water Works Association, 1978.

<sup>17</sup> Wallace, L. Water and Revenue Losses: Unaccounted-for Water. Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation, 1987.

perdas reais sob enfoque econômico, a partir do conceito do nível econômico de vazamentos (internacionalmente conhecido como *economic leakage level – ELL*).

De acordo com o órgão regulador de água e esgoto da Inglaterra e País de Gales (OFWAT), entende-se nível econômico de vazamentos como o ponto em que o custo de reduzir o vazamento é igual ao benefício obtido pelo controle de vazamento (OFWAT, 2002). Analogamente, Farley e Trow (2003) consideram o nível econômico de vazamento equivalente ao máximo valor a ser investido no controle das perdas reais e que não supere o custo da água que foi perdida. Com base nos conceitos de OFWAT (2002) e Farley e Trow (2003), ilustra-se graficamente o conceito de nível econômico de vazamentos na FIGURA 19.

FIGURA 19 – ESQUEMATIZAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO



FONTE: Adaptado de Farley e Trow (2003).

A FIGURA 19 apresenta três custos: o custo de controle de perdas reais, o custo de produção de água e o custo total. A curva de custo de controle de perdas reais representa os custos de todas as ações promovidas pela concessionária a fim de reduzir as perdas reais. É uma curva decrescente pois a medida que aumentam as perdas, maiores volumes de água são perdidos, o que facilita a detecção dos vazamentos (FARLEY; TROW, 2003). Observa-se ainda na curva de custo de controle de perdas reais que a medida que as perdas reais se aproximam das perdas reais inevitáveis, os custos aumentam excessivamente. Isso acontece porque a magnitude dos vazamentos que ocorre no sistema é pequena e para conseguir detectá-los são necessários grandes investimentos em controle para conseguir localizá-los.



A outra curva presente na FIGURA 19 é a curva de custo de produção da água. É uma curva linearmente crescente e corresponde ao custo do volume de água produzido. Assim, a medida que aumentam os volumes perdidos pelos vazamentos, os custos da produção de água também aumentam porque um volume maior de água deve ser tratado (FARLEY; TROW, 2003).

A soma da curva de controle de perdas reais com a curva de custo de produção da água resulta em uma terceira curva, denominada custo total. O ponto mínimo da curva do custo total corresponde ao nível de econômico de vazamento (FARLEY; TROW, 2003).

Dessa forma, o sistema pode operar em três condições: acima, abaixo ou igual ao nível econômico de vazamentos. Se o sistema operar acima do nível econômico, significa que existe pouco investimento no controle de perdas, o que acarreta em grandes volumes de água perdidos. Consequentemente, há um aumento no custo da produção da água porque mais energia e produtos químicos são empregados para tratar o volume de água excedente que será perdido. Por outro lado, se o sistema operar abaixo do nível econômico, significa que o custo da água que está sendo perdida é inferior ao custo do controle de perdas reais, logo investimentos desnecessários estão sendo feitos em controle de perdas reais. Assim, o equilíbrio entre as duas condições descritas anteriormente decorre do alcance do nível econômico de vazamento.

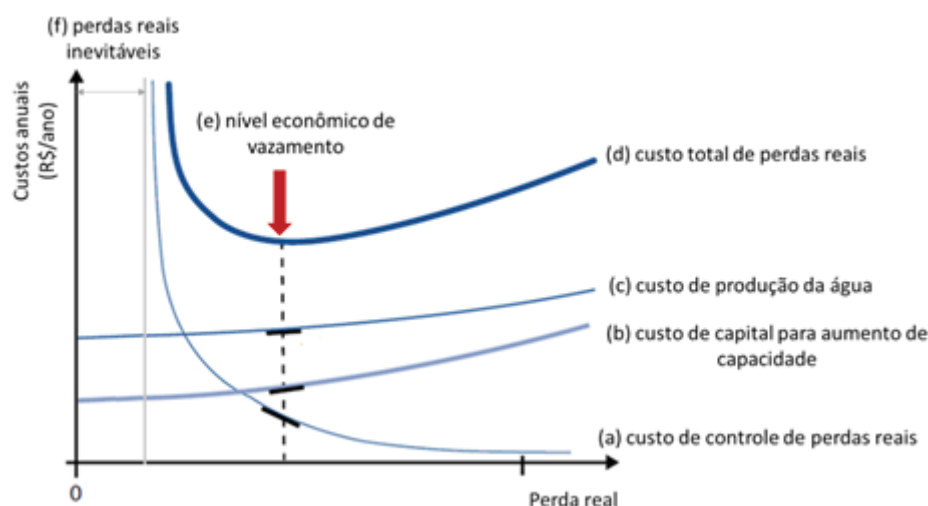
Pesquisas posteriores trouxeram contribuições acerca do tema do nível econômico de vazamento, como por exemplo a frequência econômica de pesquisas de vazamentos (LAMBERT; LALONDE, 2005), a importância de considerar pressão média do sistema (FANTOZZI; LAMBERT, 2007), o equacionamento das perdas reais inevitáveis (LAMBERT, 2009), além de pesquisas sob um viés ambiental, sugerindo a inclusão de gastos energéticos (MUNOZ-TROCHEZ; SMOUT; KAYAGA, 2010) e emissão de carbono (SMOUT; KAYAGA; MUNOZ-TROCHEZ, 2010).

Wyatt (2010) também contribuiu sugerindo um novo modelo para determinação do nível econômico de vazamento em países em desenvolvimento com a inclusão dos custos de expansão de produção do sistema. A FIGURA 20 apresenta esquematicamente o modelo para determinação do nível econômico de vazamento sugerido por Wyatt (2010).

De maneira muito similar ao sugerido por Farley e Trow (2003), Wyatt (2010) manteve as curvas de: (a) custo de controle de perdas reais, (c) custo de produção da

água e (d) custo total, além do limite mínimo das perdas reais representado pelas as perdas reais inevitáveis (e).

FIGURA 20 – MODELO DE WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO



FONTE: Adaptado de Wyatt (2010).

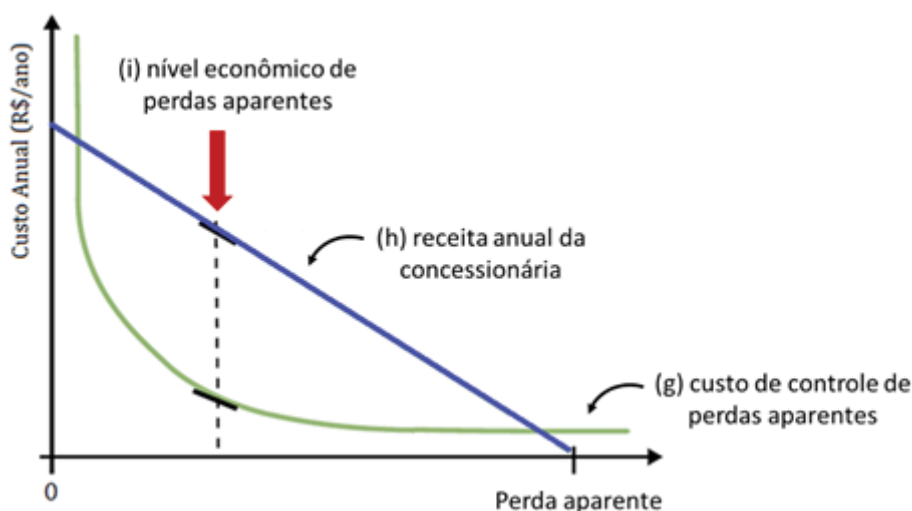
Porém, além da curva (c) não ser linear, como proposto por Farley e Trow (2003), a curva (d) do custo total de perdas recebeu mais uma parcela contribuinte devido à adição da curva (b), representando o custo de capital para aumento de capacidade. A curva (b) indica qual é o investimento necessário para expansão do sistema no período projetado, considerando as taxas de crescimento populacionais e juros anuais. Em outras palavras, a curva (b) representa quanto deve ser investido anualmente para que a capacidade atual do sistema atenda demandas futuras.

Wyatt (2010) também sugeriu um modelo para determinação do nível econômico de perdas aparentes a ser aplicado em países em desenvolvimento. Para determinar a equação do nível econômico de perdas aparentes, Wyatt (2010) igualou as derivadas da curva dos custos de controle de perdas aparentes (curva g) e com a receita anual da concessionária (curva h), ambas derivadas em relação as perdas aparentes. Na FIGURA 21, que representa esquematicamente o modelo desenvolvido por Wyatt (2010) para determinação do nível econômico de perdas aparentes, observam-se duas curvas: (g) curva de custos de controle de perdas aparentes e (h) receita anual da concessionária.

A curva (g) refere-se ao investimento realizado no combate a perdas aparentes. Se o investimento em controle de perdas aparentes for baixo, as perdas aparentes são altas. Se o investimento for alto, as perdas aparentes reduzem.

A curva (h), linearmente decrescente, representa a receita anual da concessionária. Essa curva está relacionada com a curva (g), uma vez que a medida que o investimento no controle de perdas aparentes aumenta, as perdas aparentes reduzem. Se as perdas aparentes reduzem, a receita da concessionária aumenta, pois ações como a troca de hidrômetros e detecção de fraudes e ligações clandestinas permitem a medição de correta do volume consumido.

FIGURA 21 – MODELO DE WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES



FONTE: Adaptado de Wyatt (2010).

Para Wyatt (2010), o nível econômico de perdas aparentes ocorre quando as curvas (g) e (h) são derivadas e igualadas. O resultado dessa igualdade é apresentado no QUADRO 7, equação (15). Com base nessa igualdade, Wyatt (2010) também sugeriu uma equação para a determinação do tempo de troca de hidrômetros, apresentada no QUADRO 7, equação (16), a qual pode auxiliar concessionárias a estabelecer diretrizes para tempo de troca de hidrômetros.

O QUADRO 7 também apresenta resumidamente o equacionamento das curvas (a), (b), (c) sugerido por Wyatt (2010) para determinação do nível econômico de vazamento.

QUADRO 7 - EQUAÇÕES PROPOSTAS POR WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO

(continua)

NOME	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	Nº
(a) custo de controle de perdas reais	$C_{pl} = \frac{C_s \times D \times N \times \beta}{\left[ \left( \frac{c \times p}{D} \right) \times \frac{l_p/100}{(1 - l_p/100)} \right] - \alpha}$ <p>Sendo:</p> $\alpha = \left\{ \frac{[(N_{rede} - N_{rep}) \times T_{rede} \times Q_{rede}] + [(N_{ramal} - N_{rap}) \times T_{ramal} \times Q_{ramal}]}{\left[ \frac{(P/50)^{N1} \times 24}{365 \times Lm} \right] + PRI} \right\} \times$ $\beta = \frac{PR}{365 \times Lm} - \alpha$	<p>Cpl = custo anual de perdas reais (R\$/ano);  Cs = custo da pesquisa e consertos (R\$/km);  D = extensão da rede por ligação (km/ligação);  N = número de ligações (ligação);  c = consumo per capita (m³/habitante.dia);  p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação);  lp = perda real (%);  α (coeficiente alfa) = coeficiente agregado de vazamentos inevitáveis e reportados (m³/km.dia);  PRI = perdas reais inevitáveis (m³/km.dia)  Nrede = Número de consertos de vazamentos de rede (adimensional);  Nrep = Número de vazamentos de rede identificados pela equipe de vazamentos (adimensional);  Trede = duração média do vazamento na rede (dias). Adotado 2 dias;  Tramal = duração média do vazamento na rede (dias). Adotado 10 dias;  Qrede = Vazão do vazamento na rede (m³/h);  Qramal = Vazão do vazamento no ramal (m³/h);  P = pressão média da rede de distribuição (mca);  N1 = coeficiente de vazamento (adimensional);  Lm = Extensão da rede de distribuição (km);  β (coeficiente beta) = coeficiente agregado de vazamentos não reportados (m³/km.dia/ano).  PR = Perdas reais (m³/ano).</p>	<p>(8)*</p> <p>(9)</p> <p>(10)</p>
(b) custo de capital para aumento de capacidade	$C_c = CRF \times F \times (1 + r/100)^{[E - (1/l_p - 100)] / (G/100)}$ $CRF = \frac{r/100 \times (1 + r/100)}{[(1 + r/100)^z - 1]}$ $F = k \times (z \times G \times Q_{c0})^b$	<p>Cc = custo do capital para aumento da capacidade (R\$/ano);  CRF = fator de recuperação do capital, que faz a conversão para o custo anual a partir do valor presente de um custo de capital futuro (adimensional);  F = custo futuro para expansão da capacidade (R\$);  r = taxa de juros anuais (% ao ano);  Qc0 = Consumo micromedido somado às perdas aparentes ano base da análise (m³/dia);  E = relação entre a capacidade de produção e o consumo micromedido somado às perdas aparentes no ano base (Q c0) (adimensional);  lp = perda real (%);  G = taxa de crescimento populacional (%/ano).  z = período projetado para expansão da capacidade, geralmente adotado igual a 10 anos (WYATT, 2010);  k = coeficiente de custo do capital para expansão, ou seja, o investimento aplicado em razão do aumento de capacidade de produção, em R\$/m³.dia;  b = fator de economia de escala, tipicamente entre 0,7 e 0,8 (adimensional) (WYATT, 2010)</p>	<p>(11)</p> <p>(12)</p> <p>(13)</p>

QUADRO 7 - EQUAÇÕES PROPOSTAS POR WYATT (2010) PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO

(conclusão)

NOME	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	Nº
(c) custo de produção da água	$C_v = \frac{C_w \times N \times c \times p \times 365}{(1 - l_p/100)}$	Cv = custo anual da produção de água (R\$/ano); Cw = custo variável da produção de água por m³ (R\$/m³); N = número de ligações (ligação); c = per capita (m³/habitante.dia); p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação) lp = perda real (%).	(14)
(i) nível econômico de perdas aparentes	$l_c^* = 100 \times \left[ \frac{M \times s}{(2 \times T \times c \times p \times 365)} \right]^{1/2}$	Lc* = nível econômico de perda aparente (%); M = custo de substituição do hidrômetro (R\$); s = taxa de desempenho do medidor (%/ano); T = tarifa aplicada (R\$/m³); c = consumo per capita (m³/habitante.dia); p = número de pessoas por ligação (habitante).	(15)
Tempo de troca de hidrômetro	$l_c = 100 \times \frac{s \times P_m}{2}$	lc = perda comercial (%); s = taxa de desempenho do medidor (%/ano); Pm = tempo de substituição do hidrômetro (ano).	(16)

FONTE: Autora (2019) com base nas equações desenvolvidas por Wyatt (2010).

Obs.: \* A equação original de Wyatt (2010) propõe a multiplicação no numerador por 365. Entretanto, por meio da análise dimensional efetuada, verificou-se que essa multiplicação está incorreta.

## 2.6 AVALIAÇÃO DE PERDAS E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO EM SAA

FANTOZZI e LAMBERT (2007) apresentaram os efeitos da variação de pressão para o cálculo do nível econômico de perdas a curto prazo (tradução livre: *Short-Run Economic Leakage*), que se baseia apenas no número de vazamentos, rompimentos e a variação da pressão. FANTOZZI e LAMBERT (2007) simularam hipoteticamente uma redução de 20% na pressão média atual (de 65 mca para 53 mca) de um sistema de abastecimento australiano, propiciada pela setorização da rede e uso de válvulas redutoras. Os resultados apontaram uma redução de 151 L/ligação.dia para 105 L/ligação.dia e redução nos rompimentos das tubulações em 72%, o que representou no final uma receita de 162 mil dólares ao ano, equivalente a R\$ 315 mil ao ano (no ano de referência de 2007). Os pesquisadores concluíram então que os impactos da variação da pressão são significativos nos vazamentos e nos custos de reparo e, portanto, não devem ser ignorados.

PENA (2010) analisou a viabilidade e a sustentabilidade técnica, econômica e financeira de um programa de controle e redução de perdas na Baixada de Jacarepaguá, no município do Rio de Janeiro, utilizando o método *top down* da IWA

com ações e intervenções (gerenciamento de pressão, controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos e gerenciamento da infraestrutura) ao longo de um período de cinco anos. Ao final dos cinco anos analisados, os indicadores resultaram em uma perda total de 1.404 L/ligação.dia e a perda real em 840 L/ligação.dia. O valor do IVI atingido foi de 23, considerando a pressão média na rede de 26 mca, sendo as perdas inevitáveis equivalentes a 36 L/ligação dia.

PALO (2010) validou a eficiência de simulações de perdas de água para a obtenção de um diagnóstico de perdas de água do sistema. Por meio da simulação hidráulica e medições em campo, PALO (2010) identificou trechos críticos de um distrito de medição e controle (DMC) na zona Leste de São Paulo, classificando-os em A, B e C. A classe A abrange as maiores vazões de perda real, representam vazamentos de rede, a classe B representa as vazões de perda real devido vazamentos detectáveis e a classe C é composta por vazões de perda real devido a vazamentos muito pequenos que tornam sua detecção inviável economicamente. Como resultado, PALO (2010) estimou uma recuperação de 6,29L/s para a classe A, equivalente a 40,7% relativa à perda total do setor e representando 27,18% da extensão de rede analisada; enquanto a classe B resultou em 1,04L/s numa extensão de 52,5% da rede e a classe C com recuperação inferior a 0,0035 L/s.

WYATT (2010) desenvolveu um método a ser aplicado em países em desenvolvimento para estimar o nível mínimo econômico de perdas de 59 companhias em 27 países da Ásia, África e Europa Oriental. Dentre os resultados apresentados, os sistemas possuíam perdas reais variando de 69 L/ligação.dia a 646 L/ligação.dia. Já o cálculo do nível econômico de vazamento para os mesmos sistemas variou de 61 L/ligação.dia a 159 L/ligação.dia; e o nível econômico de perdas aparentes variou de 23 L/ligação.dia a 431 L/ligação.dia. WYATT (2010) também revelou que o nível econômico de vazamento e a água não faturada cresce linearmente com a relação extensão por ligação (chegando a coeficientes de determinação de 0,69 para água não faturada e 0,82 para perda real econômica), enquanto as perdas comerciais não variam segundo a extensão por ligação.

MUNOZ-TROCHEZ; SMOUT; KAYAGA (2010) determinaram o nível econômico de vazamento para uma rede de distribuição de água na cidade de Saragoça, na Espanha, utilizando uma adaptação do balanço hídrico da IWA e incorporando custos energéticos (custos de combustível e eletricidade) utilizados no controle ativo de vazamentos, reparo e gestão da pressão. Como resultados e

discussão, MUNOZ-TROCHEZ; SMOUT; KAYAGA (2010) destacaram a importância da estimativa do nível econômico de vazamento para justificar investimentos e prioridades para estratégias de controle de vazamentos. Por fim, MUNOZ-TROCHEZ; SMOUT; KAYAGA (2010) concluíram que o modelo desenvolvido permite o cálculo do nível econômico em concessionárias, além de permitir o cálculo das externalidades energéticas associadas ao controle de vazamento.

SOUSA (2011) estudou o nível econômico de vazamento na zona baixa de Maceió. O método utilizado consistiu na adaptação e aplicação do software ECONOLEAK (MCKENZIE; LAMBERT, 2001) e levantamento e análise de dados junto a empresa de saneamento de Alagoas - CASAL. Os resultados obtidos revelaram que para aquela zona de abastecimento o nível econômico de vazamento é da ordem de 1.139 mil m<sup>3</sup>/ano, o que equivale a 141 L/ligação.dia. SOUSA (2011) enfatizou que ações de controle de perdas reais (como controle ativo de vazamento e o gerenciamento de pressão) e perdas aparentes (redução da imprecisão dos equipamentos medidores e consumos não autorizados) promovidos pela CASAL resultaram na maior oferta e regularidade na distribuição de água à população sem aumento do volume de água produzido.

VICENTINI (2012) utilizou o método *top down* para determinar as perdas reais e aparentes para três setores de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo: Paulista, Sacomã e Vila Alpina. A perda total dos três setores foi de 14.891 mil m<sup>3</sup>/ano, sendo as perdas reais subdivididas para Paulista, Sacomã e Vila Alpina em 1.616 mil m<sup>3</sup>/ano, 2.699 mil m<sup>3</sup>/ano e 6.131 mil m<sup>3</sup>/ano, respectivamente. Por outro lado, as perdas aparentes se subdividiram em 2.319 mil m<sup>3</sup>/ano para o setor Paulista, 365 mil m<sup>3</sup>/ano para o setor Sacomã e 1.791 mil m<sup>3</sup>/ano para o setor Vila Alpina. VICENTINI (2012) enfatizou em seus resultados a necessidade de apresentar o balanço hídrico de forma transparente, deixando explícito quais dados foram estimados, quais foram medidos ou calculados, assim como as incertezas correspondentes, de maneira que ela possa subsidiar tomadas de decisão na gestão da demanda da água.

ISLAM e BABEL (2013) desenvolveram dois nomógrafos para a estimativa do nível econômico de vazamento e do custo de controle de vazamento ativo para a cidade de Bangkok, na Tailândia. O primeiro nomógrafo mostra a relação entre o custo do controle de vazamento, a pressão média de operação e o nível de vazamento no SAA. O segundo nomógrafo mostra a relação entre nível econômico de vazamento,



pressão do sistema operacional e custo por metro cúbico da água. Os nomógrafos foram desenvolvidos com base no volume de vazamento, custo de condições hidráulicas e operacionais do sistema e para modelar diferentes cenários hidráulicos e de vazamentos, ISLAM e BABEL (2013) usaram o software EPANET para simulações hidráulicas.

SOUZA JÚNIOR (2014), propôs em seu trabalho um método para aprimorar a gestão de perdas de água com a utilização de DMCs utilizando como suporte um sistema de informações geográficas. Foi realizado o balanço hídrico empregando o software WB EasyCalc (WB EasyCalc, 2014), no município de Bragança Paulista, operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Para validar o método, foi realizada uma avaliação do indicador de perda total por ligação (IPLt) e o indicador percentual de águas não faturadas. O volume de águas não faturadas corresponde a soma dos volumes de perdas reais, perdas aparentes e o consumo autorizado não faturado. O índice percentual de águas não faturadas é obtido pela razão entre a subtração do volume produzido e o volume de águas não faturadas, dividido pelo volume produzido. O resultado dessa razão é multiplicado por 100 para obter em percentual. Os resultados apontaram redução de 643 L/ligação.dia em janeiro de 2014 para 282 L/ligação.dia em julho de 2014 e o indicador de águas não faturadas no mesmo período foi reduzido de 43,46% para 30,75%.

LIM, SAVIC e KAPELAN (2015) compararam três métodos distintos em um sistema na Coreia do Sul para estimar o nível econômico de águas não faturadas e adotaram o método que apresentou o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os três métodos analisados. O resultado dos autores foi que o sistema já estava muito próximo do nível econômico, pois a pesquisa revelou um mínimo econômico de 132 m<sup>3</sup>/ligação.ano, enquanto a cidade já apresentava um indicador de 127 m<sup>3</sup>/ligação.ano. Os autores sugeriram, então, manter o nível de 127 m<sup>3</sup>/ligação.ano, aproximadamente 348 L/ligação.dia, e adotá-lo como nível econômico de águas não faturadas.

ALKASSEH et al. (2015) apresentou uma estimativa do nível econômico de vazamento para o distrito de Kinta, pertencente ao estado de Perak (Malásia) utilizando o software PrimeWorks (PrimeWorks, 2018). Os dados de 2012 apresentavam um indicador de 500 L/ligação.dia e 31 m<sup>3</sup>/km.dia para a cidade, enquanto os autores chegaram a um resultado de nível econômico equivalente a 17,88 L/ligação.dia ou 2 m<sup>3</sup>/km.dia.

GONELAS e KANAKOUDIS (2016) definiram o ponto de equilíbrio de investimento para a rede de distribuição da cidade Kozani, no Norte da Grécia. Foram instaladas na rede 12 válvulas redutoras de pressão e o custo dessa intervenção foi correlacionado com a redução do volume de entrada do sistema. O resultado obtido foi uma redução de 2.275 mil m<sup>3</sup>/ano, equivalente a 31,65% de redução no volume de entrada.

Com base nos dados e informações descritas anteriormente, verifica-se como as perdas em sistemas de abastecimento de água tem motivado diversas pesquisas nessa área. A aplicação do método balanço hídrico, utilizado tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, auxiliam no diagnóstico de perdas do sistema. A partir do balanço hídrico, é possível quantificar as parcelas referentes às perdas reais e perdas aparentes para então tomar as medidas necessárias para a melhoria operacional do sistema. Apesar do vasto referencial bibliográfico encontrado internacionalmente, ainda pouco se tem estudado sobre o tema de perdas em nível nacional, mesmo o Brasil vivenciando um cenário de crise hídrica (como já discutido no item 2.1), onde o combate às perdas pode ser uma estratégia interessante para o equilíbrio entre oferta e demanda. Logo, até o presente momento, nenhum trabalho foi realizado para avaliar as perdas reais e aparentes do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), o que destaca a relevância desse trabalho. Reforça-se ainda que não foi encontrado em nível nacional nenhuma pesquisa que se dedique a avaliação de perdas de um sistema inteiro por distrito de medição e controle (DMC).

Além da determinação das perdas reais e aparentes por DMC, também foi determinado o nível econômico de perdas de cada DMC. Apesar de não ser um tema novo, existem poucos relatos dos níveis econômicos de sistemas, tanto nacionais como internacionais. Na TABELA 3 foram resumidos os estudos descritos nos parágrafos anteriores que abordaram a determinação do nível econômico de perdas em SAA. Tais estudos servirão para comparação com os resultados alcançados nessa dissertação.

TABELA 3 – RESUMO DE ALGUMAS PESQUISAS REALIZADAS ACERCA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SAA

(continua)

SISTEMA	POPULAÇÃO ATENDIDA (habitantes)	NÚMERO DE LIGAÇÕES (ligações)	EXTENSÃO DE REDE (km)	PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA (mca)	NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO			NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES (L/ligação.dia)	REFERÊNCIA
					IPLr (L/ligação.dia)	IVI (adimensional)			
Não especificado (Austrália)	-	16.000	603	53	105,0	-	-		Fantozzi e Lambert (2007)
República Democrática do Congo (África)	7.000.000	259.560	12.837	20	596,5	-	-	397,7	Wyatt (2010)
Níger (África)	960.752	82.042	2.444	30	156,7	-	-	104,5	Wyatt (2010)
Costa do Marfim (África)	8.160.777	545.042	11.911	40	125,7	-	-	53,8	Wyatt (2010)
Benin (África)	1.450.000	122.157	4.187	30	147,0	-	-	49,0	Wyatt (2010)
Uganda (África)	2.136.834	225.932	4.704	25	225,2	-	-	75,1	Wyatt (2010)
Senegal (África)	3.578.610	412.304	7.397	40	124,9	-	-	41,6	Wyatt (2010)
Burkina Faso (África)	998.770	104.400	3.413	30	148,9	-	-	49,6	Wyatt (2010)
Gana (África)	9.361.760	363.900	8.470	20	390,5	-	-	390,5	Wyatt (2010)

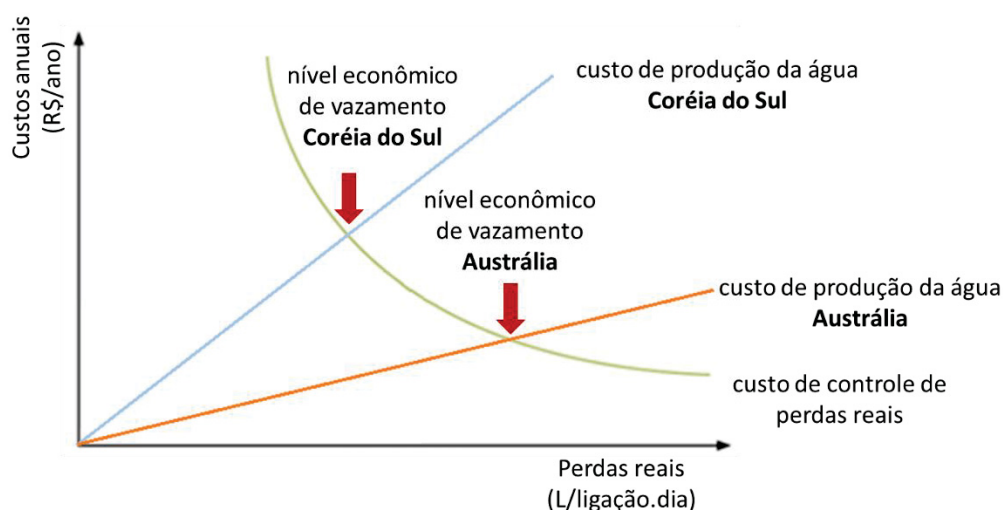
TABELA 3 – RESUMO DE ALGUMAS PESQUISAS REALIZADAS ACERCA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM SAA (conclusão)

SISTEMA	POPULAÇÃO ATENDIDA (habitantes)	NÚMERO DE LIGAÇÕES (ligações)	EXTENSÃO DE REDE (km)	PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA (mca)	NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTO			NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES (L/ligação.dia)	REFERÊNCIA
					IPLr (L/ligação.dia)	IVI (adimensional)			
Lesoto (África)	274.002	43.548	590	15	152,5	-		101,7	Wyatt (2010)
Tunísia (África)	8.515.365	2.067.000	35.403	30	68,8	-		22,9	Wyatt (2010)
Mali (África)	1.500.000	103.286	2.831	15	286,4	-		190,9	Wyatt (2010)
Togo (África)	1.201.696	56.842	2.103	30	144,6	-		48,2	Wyatt (2010)
Ruanda (África)	380.865	38.519	2.325	25	258,9	-		172,6	Wyatt (2010)
Burundi (África)	400.000	33.902	2.122	20	645,9	-		430,6	Wyatt (2010)
Gabão (África)	728.400	100.600	1.603	20	212,4	-		141,6	Wyatt (2010)
Zona baixa de Maceió (Brasil)	150.902	17.107	182	20	141,0	2,1		-	Sousa (2011)
Não especificado (Coreia do Sul)	22.433	6.414	-	-	348,0	-		-	Lim, Savic e Kaplan (2015)
Kinta (Malásia)	-	71.829	644	28	17,9	-		-	Alkasseh et al. (2015)

FONTE: Autora (2019).

Verifica-se na TABELA 3 que apesar de existirem poucas pesquisas sobre o nível econômico de perdas, foram analisados estudos de caso em diversas localidades do mundo. Isso favorece o estudo comparativo entre sistemas porque revela uma vasta gama de níveis econômicos de perdas com sistemas com características variadas da rede de distribuição de água, como pressão, extensão de rede de distribuição de água e número de ligações. A grande amplitude de IPLr encontrada (de 17,9 L/ligação.dia a 645,9 L/ligação.dia) não é resultado apenas dessas características variadas da rede de distribuição, mas também está vinculada aos diferentes custos locais, como por exemplo, os custos de produção da água. Exemplificando de maneira comparativa, o custo de produção da água na Austrália, em 2007, era de 0,1 dólares/m<sup>3</sup> (FANTOZZI; LAMBERT, 2007) e na Coreia do Sul, em 2015, era de 1,51 libras/m<sup>3</sup> (equivalente a 2,45 dólares/m<sup>3</sup> em 2015) (LIM; SAVIC; KAPELAN, 2015). Calculando ambos custos de produção para valor presente, utilizando uma taxa de 12% ao ano, obtém-se 0,37 dólares/m<sup>3</sup> na Austrália e 3,86 dólares/m<sup>3</sup> na Coreia do Sul. Em termos de nível econômico de vazamento, dentro de um cenário hipotético, onde os dois países possuem um SAA igual, com a mesma curva de controle de perdas, porém com custos de produção diferentes, é provável que o nível econômico de vazamentos da Coreia do Sul fosse menor do que a da Austrália, conforme ilustrado na FIGURA 22.

FIGURA 22 – CENÁRIO HIPOTÉTICO COMPARATIVO ENTRE OS NÍVEIS ECONÔMICOS DE VAZAMENTO DA COREIA DO SUL E AUSTRÁLIA



FONTE: Autora (2019).

A diferença nos níveis econômicos de vazamentos apresentados no cenário hipotético da FIGURA 22 ocorre porque o valor da água perdida é muito maior para a Coreia do Sul em relação a Austrália, implicando em um coeficiente angular da reta do custo de produção da água da Coreia do Sul maior do que a Austrália. Isso sugere que o investimento em controle de perdas reais da Coreia do Sul deve ser superior ao da Austrália, pois o volume água perdida custa mais por metro cúbico. Consequentemente, o nível econômico de vazamentos na Coreia do Sul é menor do que para a Austrália, considerando esse cenário hipotético. Com base nessa análise, observa-se a importância de utilizar dados do próprio sistema que está sendo analisado. Cabe salientar que no caso específico da Malásia, o qual apresentou um valor de IPLr muito inferior aos demais casos da TABELA 3, Alkassseh et al. (2015) utilizou valores de outro estudo realizado no norte da Itália (LAMBERT; FANTOZZI, 2005) para calcular o nível econômico da Malásia. Tal fato pode ter contribuído para a obtenção um valor de IPLr tão discrepante em relação aos demais estudos.

Na TABELA 3 observa-se ainda que, com exceção do Wyatt (2010), nenhum outro estudo se dedicou a analisar o nível econômico de perdas aparentes. Como já definido no item 2.4.1, as perdas aparentes compreendem a água que foi entregue ao consumidor final, mas não foi medida e consequentemente, não foi faturada pela concessionária. Geralmente, países em desenvolvimento tendem a enfrentar problemas relacionados às perdas aparentes (PETROULIAS; FOUFEAS; BOUGOULIA, 2016). Logo, destaca-se novamente a importância dessa dissertação, que abrange além da determinação do nível econômico de vazamentos, o nível econômico de perdas aparentes em um país em desenvolvimento, no caso, Brasil.

O capítulo 3 abordará sobre os métodos empregados nessa dissertação para calcular as perdas reais e as perdas aparentes do Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC) por distrito de medição e controle (DMC), assim como o método utilizado para a determinação do nível econômico de vazamento e perdas aparentes dos respectivos DMCs.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O método aplicado neste trabalho é do tipo exploratória, quali-quantitativa, incluindo pesquisa documental e bibliográfica aplicadas em um estudo de caso que tem como abrangência o Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana, denominado SAIC. O SAIC é gerenciado pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Além do SAIC, a SANEPAR mantém a concessão para o abastecimento de água do município de Curitiba e dos 29 municípios que compõe a Região Metropolitana de Curitiba – RMC.

O intuito da pesquisa foi buscar informações, quantificá-las e qualificá-las, para resolução de possíveis problemas relacionados à gestão de perdas no Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC). Cabe salientar que em função das perdas de água serem mais significativas no sistema de distribuição, conforme indicado pelas pesquisas de Moura et al. (2004) e Sousa (2011), e também em função do SAIC possuir um sistema integrado que aumenta a complexidade do SAA, o trabalho focou na análise de gestão no sistema distribuidor do SAIC, ou seja, à jusante dos reservatórios.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram adotados alguns conceitos, citados na revisão da literatura e considerados relevantes para o trabalho, cuja síntese está apresentada no QUADRO 8.

QUADRO 8 - SÍNTESE DOS CONCEITOS MAIS RELEVANTES DA REVISÃO DA LITERATURA

(continua)

PARÂMETRO	CONCEITO
Balanço hídrico	Método de determinação indireta das perdas reais a partir da quantificação de dados anuais dos volumes autorizados e perdas aparentes.
Consumo não autorizado	Corresponde aos volumes de água consumidos, porém não autorizados pela concessionária (fraudes em medidores, ligações clandestinas, by-pass em hidrômetros, entre outros).
Distrito de medição e controle (DMC)	Porção da rede de distribuição de água isolável que possibilita o monitoramento das vazões e/ou pressões dessa porção.
Indicador de perdas aparentes por ligação (IPLa)	É um indicador obtido pela divisão do volume de perdas aparentes pela quantidade de ligações do sistema.



QUADRO 8 - SÍNTESE DOS CONCEITOS MAIS RELEVANTES DA REVISÃO DA LITERATURA

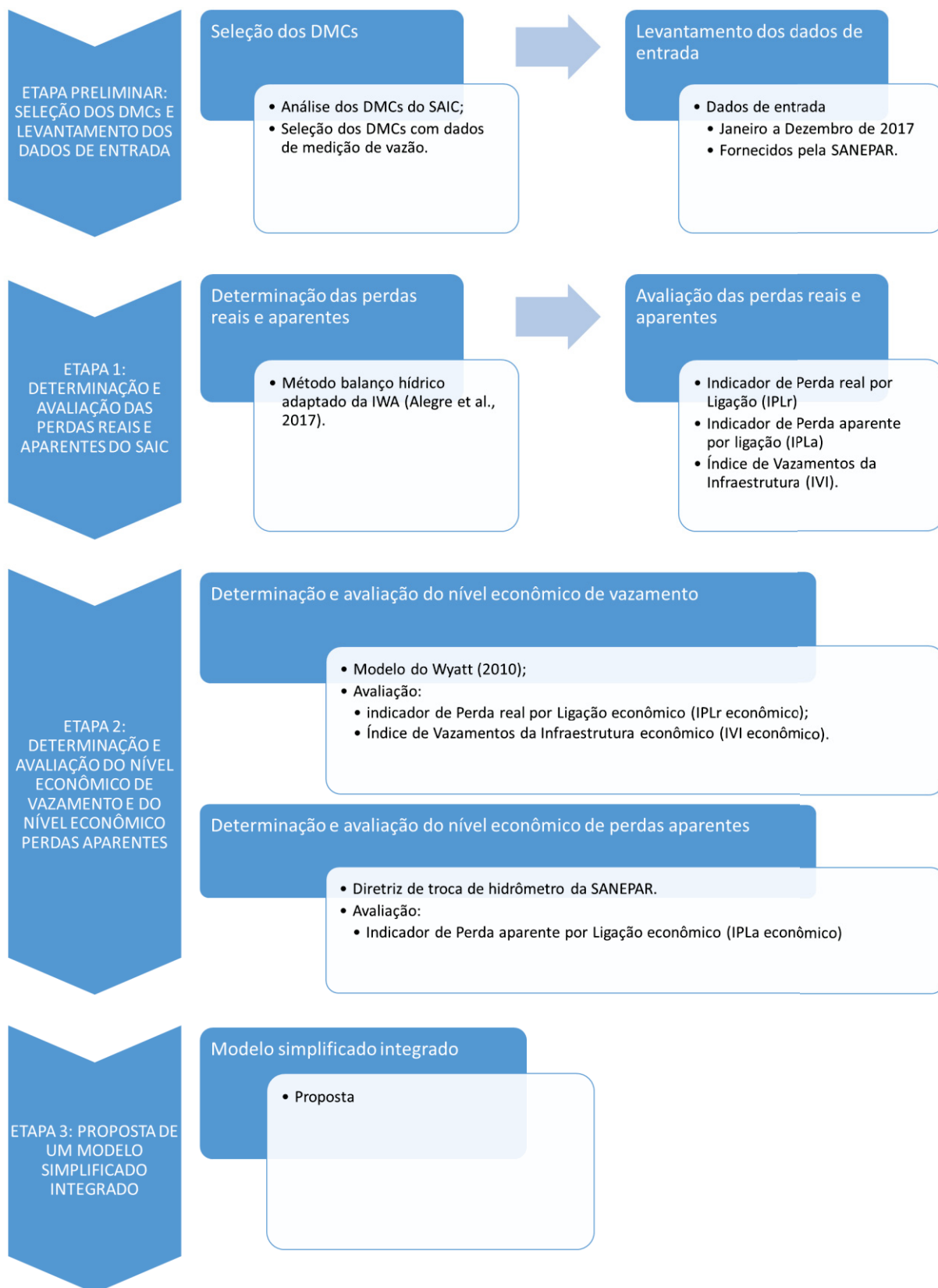
(conclusão)

PARÂMETRO	CONCEITO
Indicador de perdas reais por ligação (IPLr)	É um indicador obtido pela divisão do volume de perdas reais pela quantidade de ligações do sistema.
Indicador de perdas totais por ligação (IPLt)	É um indicador obtido pela divisão do volume de perdas totais pela quantidade de ligações do sistema.
Índice de vazamentos da infraestrutura (IVI)	É um índice obtido pela divisão do IPLr pelas perdas reais inevitáveis (PRI).
Ligação	Corresponde ao conjunto de tubos, peças, conexões e equipamentos que interliga a rede de distribuição de água à instalação predial do usuário.
Nível econômico de perdas aparentes	Corresponde ao ponto em que o custo de controle da perda aparente é igual a receita obtida pelo seu controle.
Nível econômico de vazamento	Corresponde ao máximo valor a ser investido no controle das perdas reais que não supere o custo da água que foi perdida.
Parque de hidrômetros	Corresponde ao conjunto de hidrômetros de determinado sistema ou DMC.
Perdas aparentes	Corresponde ao volume de água que foi entregue ao consumidor final, mas não foi medida ou faturada pela concessionária.
Perdas de água	Corresponde à diferença entre o volume que entrou no sistema e o volume consumido autorizado pela concessionária.
Perdas reais	Corresponde aos volumes perdidos por meio de vazamentos.
Perdas reais inevitáveis (PRI)	Corresponde ao mínimo valor de perda real que o sistema apresentará, geralmente inviável economicamente para ser reparado.
Sistema de abastecimento de água (SAA)	Corresponde às “atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição” (BRASIL, 2007a).
Submedição de hidrômetros	Corresponde aos volumes entregues aos consumidores, mas que não foram registrados devido à ineficiência do hidrômetro.

FONTE: Autora (2019).

Para cumprir aos objetivos propostos, a pesquisa foi dividida em quatro etapas, sendo a primeira considerada como preliminar, onde foram obtidas todas as informações necessárias para o desenvolvimento das etapas seguintes. As etapas do trabalho estão representadas por meio de um organograma na FIGURA 23 e descritas no item 3.2.

FIGURA 23 - ORGANOGRAMA DAS ETAPAS DA PESQUISA



FONTE: Autora (2019).

Foi elaborado em 2013 pela SANEPAR o Plano Diretor de Água do SAIC, que apresenta um diagnóstico do sistema de produção (captação e tratamento), reservação e distribuição de água, e um prognóstico de ações a serem executadas até 2040 a fim garantir o fornecimento de água para a região de abrangência do SAIC (SANEPAR, 2013).

De acordo com os dados apresentados no Plano Diretor de Água (SANEPAR, 2013), a vazão total do sistema de produção é de 9,5 m³/s, sendo a captação formada por mananciais superficiais e subterrâneo.

A captação em mananciais superficiais corresponde a cerca de 95% do total e é realizada pelos mananciais denominados: Altíssimo Iguaçu (vazão outorgada de 5,9 m³/s), Passaúna (vazão de 1,8 m³/s), Miringuava (vazão de 0,9 m³/s); e os mananciais de pequeno porte, que juntos tem vazão outorgada de 0,43 m³/s. A captação superficial é complementada pela captação subterrânea de poços perfurados no aquífero Karst e aquífero Cristalino, com vazão aproximada de 0,47 m³/s, abastecendo os sistemas de Colombo, Almirante Tamandaré, Capivari, Campina grande do Sul, Araçatuba e São Marcos.

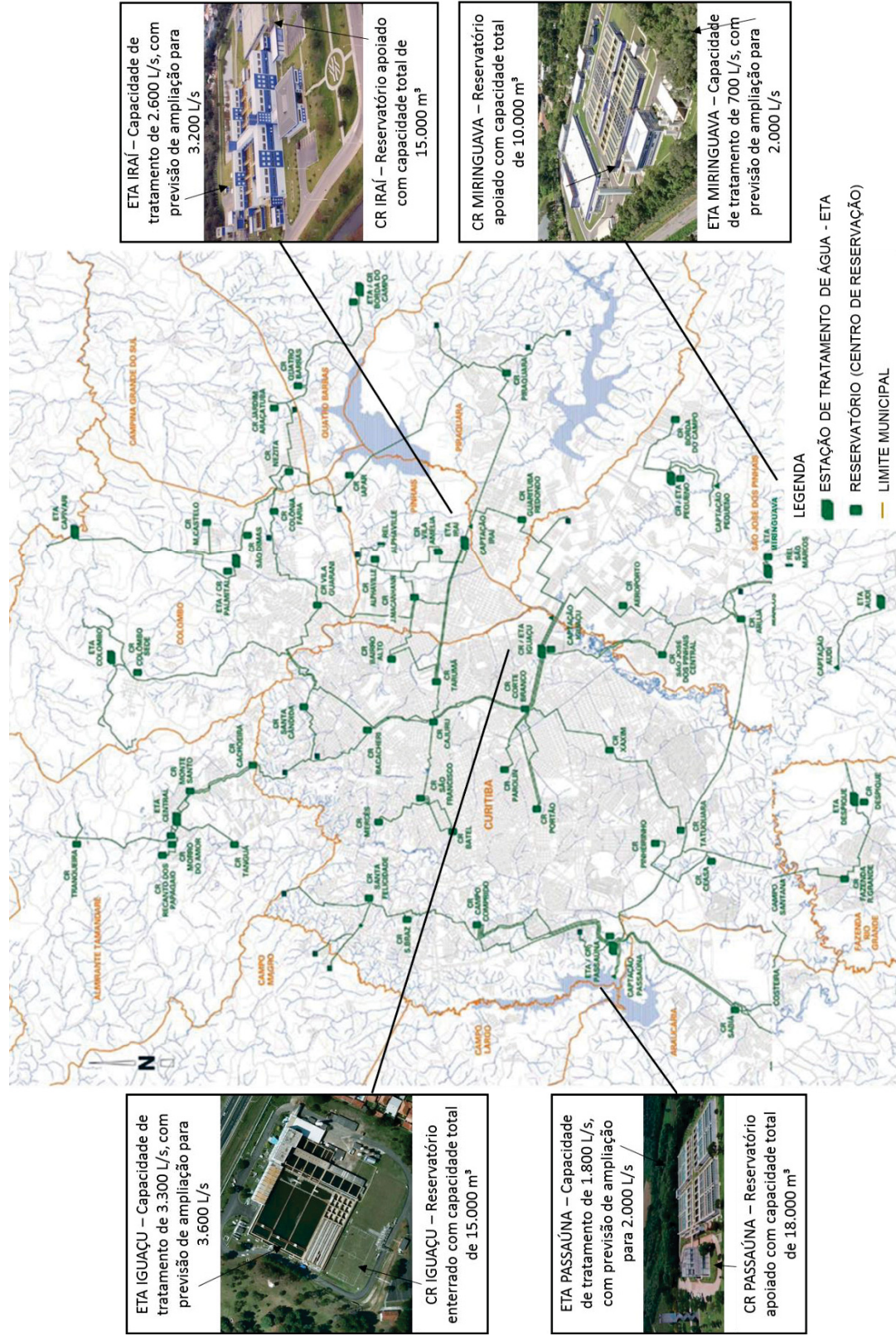
O tratamento da água é feito em quatro Estações de Tratamento de Água (ETA), do tipo convencionais, de médio e grande porte: ETA Iguaçu, ETA Passaúna, ETA Iraí e ETA Miringuava e também em ETAs de pequeno porte, como a ETA Despique e ETA Palmital.

A água tratada é aduzida para 58 centros de reservação de água, localizados juntos às ETAs e distribuídos em toda área de abrangência do SAIC, em função das condições de volume e pressão na rede. O volume total de reservação do SAIC é de 377.650 m³.

A distribuição de água é dividida em 109 distritos de medição. Destes, 84 DMCS são formados por uma única zona de pressão e os demais distritos são formados pela união de duas ou mais zonas de pressão, como por exemplo o distrito de medição do reservatório Iguaçu, que possui a zona de recalque e duas válvulas redutoras de pressão à jusante do recalque. A FIGURA 25 apresenta o SAIC, com destaque os principais sistemas de produção e reservação de água tratada.



FIGURA 25 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO E RESERVAÇÃO DO SAIC – SANEPAR



FONTE: Adaptado de SANEPAR, 2013.

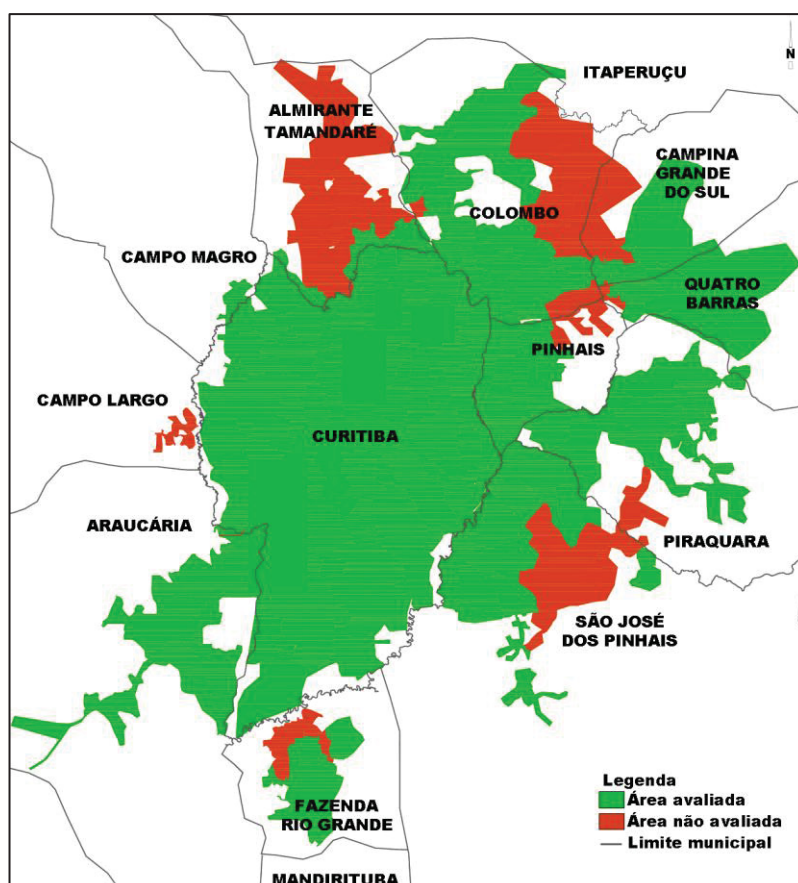
## 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

### 3.2.1 ETAPA PRELIMINAR: SELEÇÃO DOS DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMCs) DO SAIC E LEVANTAMENTO DE DADOS.

O trabalho teve início com a seleção dos DMCs que seriam avaliados, uma vez que não seria possível considerar todos os 109 que compõem o SAIC, devido às falhas no sistema de medição e controle, o que resultaria em falta de dados para 12 meses ininterruptos, conforme proposto neste trabalho.

Assim, foram selecionados 92 DMCs (área destacada na FIGURA 26 pela cor verde e os DMCs não avaliados estão representados pelas áreas em vermelho). Ou seja, do total de 842.033 ligações de água que compõe o SAIC foram avaliadas 706.142 ligações, o que corresponde a uma cobertura de aproximadamente 84% do SAIC.

FIGURA 26 – ÁREA DOS DMCs DO SAIC AVALIADOS E NÃO AVALIADOS



FONTE: Adaptado de Agostinho (2018).

Quanto ao levantamento de dados, os quais foram utilizados em todas as etapas da pesquisa, denominados como dados de entrada, foram coletados internamente na SANEPAR, na unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP), por um período de aproximadamente seis meses. Os dados de entrada consideram 12 meses de medição e o ano de 2017 (ano anterior ao início da pesquisa). Os dados levantados e as respectivas descrições e origens estão apresentados no QUADRO 9. Todos os dados fornecidos foram inseridos em planilha Excel, cujo modelo já é utilizado pela SANEPAR.

QUADRO 9 - DADOS DE ENTRADA, DESCRIÇÃO DO DADO E ORIGEM DA INFORMAÇÃO

(continua)

DADOS LEVANTADOS	DESCRIÇÃO DO DADO	ORIGEM DA INFORMAÇÃO SANEPAR (2017a)
N	N = corresponde ao número de ligações do DMC (ligação).	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Lm	Lm = Extensão da rede de distribuição (km).	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
P	P = corresponde ao valor da pressão média da rede de distribuição (kPa).	Valor fornecido pela SANEPAR, da unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP).
c x p	c x p = consumo diário por ligação (m <sup>3</sup> /ligação.dia). <ul style="list-style-type: none"> <li>• c = consumo per capita (m<sup>3</sup>/habitante.dia).</li> <li>• p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
D	D = extensão da rede por ligação (km/ligação).	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Nrede	Nrede = Número de consertos de vazamentos de rede realizados.	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Nramal	Nramal = Número de consertos de vazamentos de ramal realizados.	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
kmp	kmp = extensão de rede percorrida pela equipe de pesquisa de vazamentos.	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Nrep	Nrep = Número de vazamentos de rede identificados pela equipe de pesquisa de vazamentos.	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Nrap	Nrap = Número de vazamentos de ramal identificados pela equipe de pesquisa de vazamentos.	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.



QUADRO 9 - DADOS DE ENTRADA, DESCRIÇÃO DO DADO E ORIGEM DA INFORMAÇÃO

(continuação)

DADOS LEVANTADOS	DESCRIÇÃO	ORIGEM SANEPAR (2017a)
tarifa média	tarifa média = corresponde ao valor praticado de tarifa média em 2017 (R\$/m³).	Estimativa feita pela SANEPAR, na unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP).
Volume medido faturado	<p><b>Volume medido faturado = corresponde ao volume micromedido da rede de distribuição (m³/ano):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume micromedido = corresponde ao volume total de água que foi utilizado pelos consumidores (m³/ano).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume não medido faturado	<p><b>Volume não medido faturado = corresponde ao volume utilizado por caminhão pipa (m³/ano):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume utilizado por caminhão pipa = corresponde ao volume total que foi utilizado por caminhões pipa (m³/ano). Esse volume foi estimado, pois não se faz uso de equipamentos medidores de vazão na entrada do caminhão pipa.</li> </ul>	Estimativa feita pela SANEPAR, na unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP).
Volume medido não faturado	<b>Volume medido não faturado = corresponde ao consumo interno de água nos escritórios da SANEPAR (m³/ano).</b>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume não medido não faturado	<p><b>Volume não medido não faturado = corresponde ao uso operacional e especial do sistema (m³/ano).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume operacional e especial = corresponde ao volume purgas de rede (uso operacional) e o volume utilizado pelos bombeiros para combate a incêndio (volume especiais) (m³/ano).</li> <li>Estes volumes são estimados, pois não se faz uso de equipamentos medidores de vazão nas purgas de rede nem em combates a incêndios.</li> </ul>	Estimados pela unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP).
Volume autorizado faturado	<p><b>Volume autorizado faturado = soma do volume medido faturado e o volume não medido faturado (m³/ano).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume medido faturado = corresponde ao volume micromedido da rede de distribuição (m³/ano).</li> <li>Volume não medido faturado = corresponde ao volume utilizado por caminhão pipa (m³/ano).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume autorizado não faturado	<p><b>Volume autorizado não faturado = soma do volume medido não faturado e o volume não medido não faturado (m³/ano).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume medido não faturado = corresponde ao consumo interno de água nos escritórios da SANEPAR (m³/ano).</li> <li>Volume não medido não faturado = corresponde ao uso operacional e especial do sistema (m³/ano).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume autorizado total (VAT)	<p><b>Volume autorizado total (VAT) = soma do volume autorizado faturado e o volume autorizado não faturado (m³/ano).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume autorizado faturado = soma do volume medido faturado e o volume não medido faturado (m³/ano).</li> <li>Volume autorizado não faturado = soma do volume medido não faturado e o volume não medido não faturado (m³/ano).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.

QUADRO 9 - DADOS DE ENTRADA, DESCRIÇÃO DO DADO E ORIGEM DA INFORMAÇÃO  
(conclusão)

DADOS LEVANTADOS	DESCRIÇÃO	ORIGEM SANEPAR (2017a)
<b>Volume de entrada do sistema (VE)</b>	<p><b>Volume de entrada no sistema (VE) = corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório, somado ao volume importado para o DMC e descontado o volume exportado do DMC (m³/ano).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume medido a jusante do reservatório = corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório (m³/ano).</li> <li>• Volume importado = corresponde ao volume trazido para o DMC proveniente de outra região (m³/ano).</li> <li>• Volume exportado = corresponde ao volume extraído do DMC e direcionada para outra região (m³/ano).</li> </ul>	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.

FONTE: Autora (2019).

### 3.2.2 ETAPA 1: DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES PELO BALANÇO HÍDRICO E POR INDICADORES E ÍNDICE

Esta etapa foi dividida em duas partes:

- Determinação das perdas reais e aparentes com base no método do balanço hídrico que foi desenvolvido pela IWA (ALEGRE et al., 2017) e apresentado no item 2.4.2, na página 37;
- Avaliação das perdas reais e aparentes por meio de indicadores e índice de avaliação, apresentados no item 2.4.4, na página 45.

- Determinação das perdas reais e aparentes com base no método do balanço hídrico – IWA

A escolha pelo método do balanço hídrico foi pela facilidade de aplicação, considerando as disponibilidades de dados fornecidos pela SANEPAR, não exigindo instalação de novos equipamentos e disponibilidades de equipes da companhia para obtenção dos dados, o que acarretaria em custo elevado e maior tempo de execução. O método do balanço hídrico já foi utilizado em vários países, com confiabilidade e precisão.

Entretanto, pelo fato do SAIC ser um sistema integrado, ou seja, complexo, o método foi aplicado à jusante dos reservatórios pertencentes ao sistema de distribuição, onde normalmente ocorrem mais de 90% das perdas de água,

diferentemente do método original proposto pela IWA que considera todo o sistema de abastecimento de água - SAA (captação, produção, distribuição). Dessa forma, na categoria perdas reais, não foram considerados os vazamentos de adutoras de água bruta, adutoras de água tratada, os vazamentos e extravasamentos em reservatórios e nas ETAs.

Destaca-se também que neste trabalho, o volume utilizado por caminhões pipa foi considerado um volume não medido, mas faturado (mesmo que não possua medição nos caminhões, a SANEPAR fatura com a venda da água). Para a IWA, o volume utilizado por caminhões pipa é definido como medido não faturado.

Assim, os itens adaptados para esta pesquisa, na matriz do balanço hídrico de perdas de água proposto pela IWA, estão destacados no QUADRO 10.

QUADRO 10 – MATRIZ DO BALANÇO HÍDRICO DE PERDAS DE ÁGUA ADAPTADA DA IWA UTILIZADA NA PESQUISA.

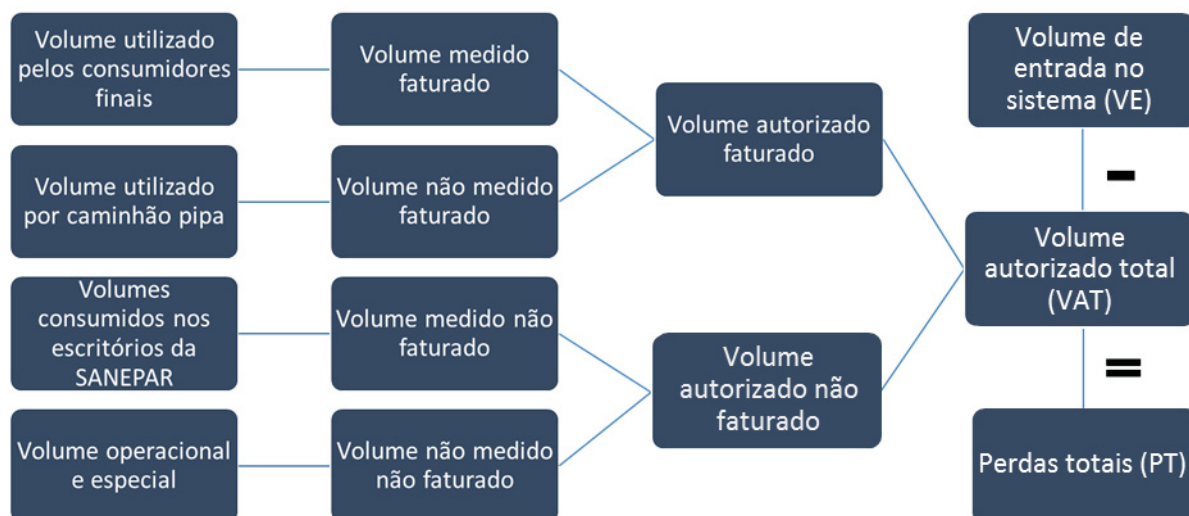
Volume de entrada no sistema (VE)	Volume autorizado total (VAT)	Volume autorizado faturado	Volume medido faturado	Volume faturado
		Volume autorizado não faturado	Volume não medido faturado (*)	Volume não faturado
			Volume medido não faturado (*)	
			Volume não medido não faturado	
Perdas totais (PT)	Perdas aparentes (PA)	Perdas reais (PR)	Volume não autorizado (VF)	Volume não faturado
			Volume de submedição de hidrômetros (VS)	
		Perdas reais (PR)	Vazamentos em rede de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	
			Vazamentos de adutoras de água bruta e tratada, os vazamentos e extravasamentos em reservatórios e nas ETAs.	

FONTE: Adaptado de Alegre et al. (2017).

Nota: (\*) O volume utilizado por caminhão pipa foi considerado no volume não medido faturado em função da concessionária não medir, mas faturar com a venda de água.

A determinação das perdas totais pelo método do balanço hídrico para os DMCs selecionados foi realizada conforme esquematização apresentada na FIGURA 27.

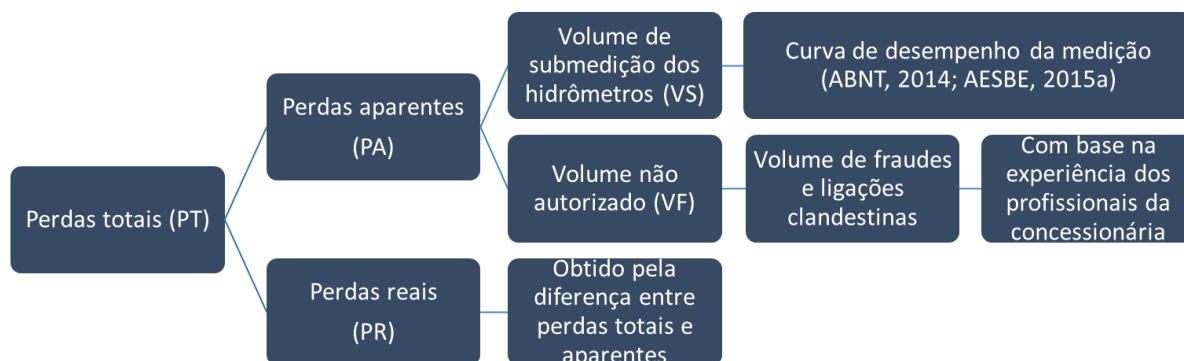
FIGURA 27 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS DO SISTEMA SAIC



FONTE: Autora (2019).

A determinação das perdas reais e aparentes foi feita conforme esquema apresentado na FIGURA 28.

FIGURA 28 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES NO DMC



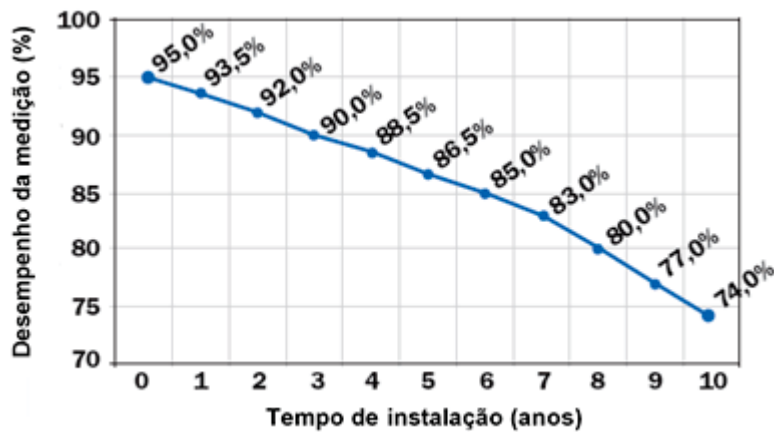
FONTE: Autora (2019).

No método do balanço hídrico, as perdas reais são obtidas indiretamente por meio da subtração entre as perdas totais e as perdas aparentes. As perdas aparentes, por sua vez, são compostas pelo volume de submedição dos hidrômetros e pelo volume não autorizado.

Para determinar o volume de submedição dos hidrômetros, foi utilizado o método da curva de desempenho da medição preconizado pela ABNT NBR 15538:2014 - Medidores de água potável - Ensaios para avaliação de eficiência (ABNT, 2014). A curva de medição determina a eficiência na medição em função do

tempo de instalação do hidrômetro. A curva de desempenho utilizada foi a recomendada no guia 3 da Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE), denominado procedimento para estimativa de submedição no parque de hidrômetros (AESBE, 2015a), apresentado na página 59 e reapresentada a seguir (FIGURA 29).

FIGURA 29 - CURVA DE DESEMPENHO PARA HIDRÔMETROS UTILIZADA PARA A DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SUBMEDIÇÃO



FONTE: AESBE (2015a).

A outra parcela das perdas aparentes corresponde ao volume não autorizado, que considera o volume de fraudes e ligações clandestinas no DMC. Tais volumes, por não possuírem medição, foram estimados com base em anos anteriores por profissionais da SANEPAR, com base na experiência operacional no SAIC.

Para melhor visualização, está apresentado no QUADRO 11 um resumo do procedimento de cálculo para a determinação de cada parcela de perdas obtidas pelo método do balanço hídrico.

QUADRO 11 - RESUMO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PERDAS PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO ADAPTADO DA IWA (2017)

(continua)

TIPO DE PERDA	FORMA DE DETERMINAÇÃO (EQUAÇÃO)	DESCRIÇÃO	Nº.
Perdas totais (PT) (m³/ano)	$PT = VE - VAT$	<p>VE = Volume de entrada no sistema, que corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório, somado ao volume importado para o DMC e descontado o volume exportado do DMC (m³).</p> <p>VAT = Volume autorizado total, que é a soma do volume autorizado faturado e o volume autorizado não faturado para o ano de 2017 (m³/ano).</p>	(17)

QUADRO 11 - RESUMO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PERDAS PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO ADAPTADO DA IWA (2017)

(conclusão)

TIPO DE PERDA	FORMA DE DETERMINAÇÃO (EQUAÇÃO)	DESCRIÇÃO	Nº.
Perdas aparentes (PA) (m³/ano)	$PA = VS + VF$	VS = Volume de submedição dos hidrômetros, definido pela curva de desempenho da medição, conforme ABNT (2014) e AESBE (2015) em (m³/ano). VF = Volume de fraudes e ligações clandestinas, que foi estimada com base na experiência operacional no SAIC (m³/ano).	(18)
Perdas reais (PR) (m³/ano)	$PR = PT - PA$	PR = volume de perdas reais (m³/ano); PT = volume de perdas totais (m³/ano); PA = volume de perdas aparentes (m³/ano).	(19)

FONTE: Autora (2019).

b) Avaliação das perdas por meio de indicadores e índices.

Depois de aplicado o método do balanço hídrico para a determinação das perdas de água nos DMCs do SAIC, foi feita a avaliação por meio de indicadores e índices de avaliação de perdas, os quais estão apresentados a seguir:

- Indicador de perdas reais por ligação (IPLr 2017);
- Indicador de perdas aparentes por ligação (IPLa 2017);
- Índice de vazamentos da infraestrutura (IVI 2017), conforme Liemberger e Mckenzie (2005).

Não foram utilizados para a avaliação os indicadores de perdas por extensão, que é recomendado para áreas rurais, e o indicador percentual, que segundo a literatura não se trata de um indicador técnico, portanto, não se recomenda a sua utilização. Para a determinação dos indicadores foram utilizadas as equações apresentadas no QUADRO 12.

QUADRO 12 - DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NOS DMCs DO SAIC

NOME	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	Nº
Indicador de Perdas Reais por Ligação - IPLr 2017 (L/ligação.dia)	$IPLr\ 2017 = \frac{PR \times 1000}{N \times 365}$	PR = Perdas reais (m³/ano) PR= PT - PA N = número de ligações de água (ligação)	(20)
Indicador de Perdas Aparentes por Ligação - IPLa 2017 (L/ligação.dia)	$IPLa\ 2017 = \frac{PA \times 1000}{N \times 365}$	PA = Perdas aparentes (m³/ano) PA= VS + VF N = número de ligações de água (ligação)	(21)
Perdas Reais Inevitáveis - PRI (L/ligação.dia)	$PRI = \left( 18 \times \frac{Lm}{N} + 0,8 + 25 \times Lp \right) \times \frac{P}{10}$	Lm = Extensão da rede de distribuição (km); N = número de ligações de água (ligação); Lp = Distância média entre os ramais prediais e o alinhamento predial (m); Obs. Foi considerada igual a zero, uma vez que a maioria dos hidrômetros do SAIC são instalados no alinhamento predial. P = corresponde ao valor da pressão média da rede de distribuição (kPa).	(5)
Índice de Vazamentos da Infraestrutura – IVI 2017 (adimensional)	$IVI\ 2017 = \frac{IPLr\ 2017}{PRI}$	IPLr = Indicador de Perdas Reais por Ligação (L/ligação.dia); PRI = Perdas Reais Inevitáveis (L/ligação.dia).	(4)

FONTE: Autora (2019).

A avaliação do IPLr 2017 e IPLa 2017 foi realizada com base na seleção de pesquisas feitas em diversos países entre os anos de 2008 e 2018, que aplicaram o IPL para avaliar os respectivos SAAs. Tais pesquisas selecionadas foram apresentadas na revisão da literatura, cujos resultados constam no QUADRO 6, na página 51. Para avaliação do IVI foi utilizada a categorização proposta por Liemberger e Mckenzie (2005), denominado de categoria de desempenho técnico do SAA em função do indicador IPLr, considerando diferentes faixas de pressão e para países em desenvolvimento, conforme QUADRO 13. A categorização completa está apresentada no QUADRO 4 da página 48.



QUADRO 13 - CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO DO SAA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA (IVI) PARA PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO	IVI*	IPLr POR FAIXAS DE PRESSÃO MÉDIA DO SISTEMA (L/Ligação.dia)				
		10 mca	20 mca	30 mca	40 mca	50 mca
Países em Desenvolvimento	A 1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B 4 - 8	50 -100	100 -200	150 -300	200 -400	250 -500
	C 8-16	100 - 200	200 - 400	300 - 600	400 - 800	500 - 1000
	D > 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

FONTE: Adaptado de Liemberger e Mckenzie (2005).

Obs.: \* Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI)

### 3.2.3 ETAPA 2: DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS E DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES

Esta etapa foi dividida em três partes:

- Determinação do nível econômico de vazamento com base no método do Wyatt (2010) e apresentado na página 67, item 2.5 e avaliação por meio de indicador e índice de avaliação, apresentados no item 2.4.4, na página 45.
- Determinação do nível econômico de perdas aparentes com base na diretriz de troca de hidrômetro da SANEPAR e avaliação mediante aplicação de indicador, apresentados no item 2.4.4, na página 45.
- Determinação da perda total econômica e do volume autorizado total econômico e avaliação por meio de comparação com os resultados obtidos na etapa 1 e os cenários previsto no plano diretor de água do SAIC.

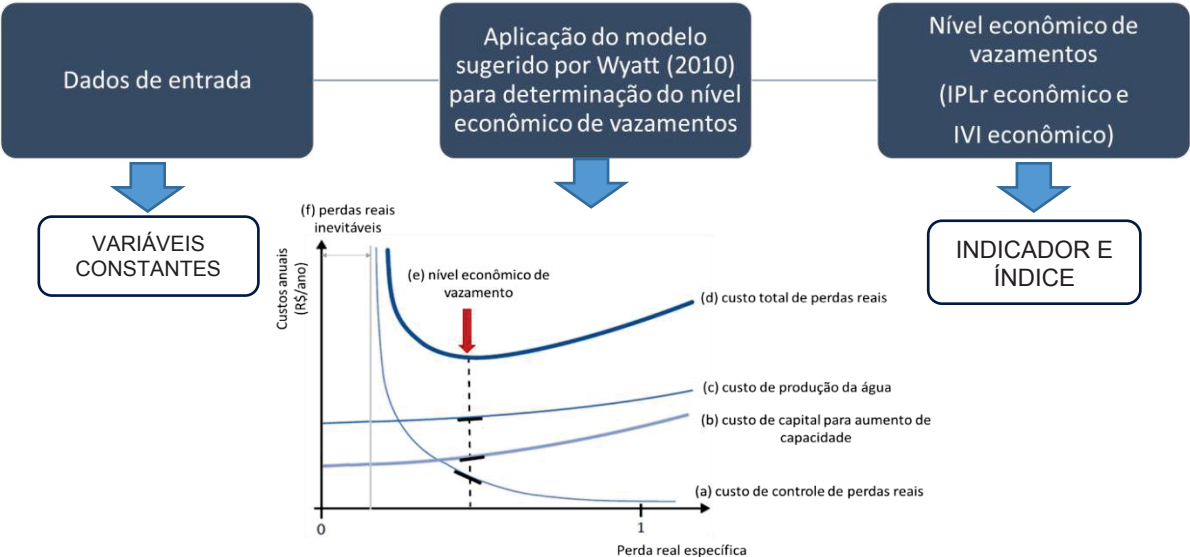
#### a) Determinação e avaliação do nível econômico de vazamento

Para a determinação do nível econômico de vazamento foi utilizado o modelo proposto por Wyatt (2010), conforme item 2.5 (página 64).

Inicialmente foram obtidos os dados de entrada do modelo do Wyatt (2010), porém, por se tratar da análise de um mesmo sistema, o SAIC, os dados de entrada descritos no QUADRO 14 (apresentado a seguir) não variam entre os DMCs e,

portanto, foram denominadas nesta pesquisa de variáveis constantes. Tais variáveis foram definidas em conjunto com profissionais da unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP) da SANEPAR.

FIGURA 30 – ESQUEMA PARA A DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS



FONTE: Autora (2019).

QUADRO 14 - VARIÁVEIS CONSTANTES UTILIZADAS PARA DETERMINAR O NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS DO SAIC – SANEPAR SEGUNDO WYATT (2010)

(continua)

VARIÁVEL	SIGLA	VALOR	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Taxa de crescimento populacional	G	2	% a.a.	Variável da curva custo do capital para aumento capacidade
Taxa de juros anuais	r	12	% a.a.	Variável da curva custo do capital para aumento capacidade
Período projetado para expansão da capacidade	z	10	anos	Variável da curva custo do capital para aumento capacidade
Coeficiente de custo de capital para expansão	k	1851,85	R\$/m³.dia	Variável da curva custo do capital para aumento capacidade
Custo variável de produção	C <sub>w</sub>	0,4624	R\$/m³	Variável da curva custo de produção da água
Coeficiente de vazamento	N <sub>1</sub>	1,2	adimensional	Variável da curva custo de controle da perda
Preço da pesquisa de vazamento	C <sub>pesq</sub>	400	R\$/km	Variável da curva custo de controle da perda

QUADRO 14 - VARIÁVEIS CONSTANTES UTILIZADAS PARA DETERMINAR O NÍVEL ECONÔMICO DE VAZAMENTOS DO SAIC – SANEPAR SEGUNDO WYATT (2010)

(conclusão)

VARIÁVEL	SIGLA	VALOR	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Preço do conserto de rede*	C <sub>re</sub>	500,44	R\$/conserto	Variável da curva custo de controle da perda
Preço do conserto de ramal*	C <sub>ra</sub>	224,97	R\$/conserto	Variável da curva custo de controle da perda
Tempo de duração média do vazamento na rede	T <sub>rede</sub>	2	dias	Variável da curva custo de controle da perda
Tempo de duração média do vazamento no ramal	T <sub>ramal</sub>	10	dias	Variável da curva custo de controle da perda
Vazão do vazamento na rede	Q <sub>rede</sub>	12	m³/h	Variável da curva custo de controle da perda
Vazão do vazamento no ramal	Q <sub>ramal</sub>	1,6	m³/h	Variável da curva custo de controle da perda
Fator de economia de escala	b	0,75	adimensional	Variável da curva custo do capital para aumento capacidade

FONTE: Autora (2019).

Nota: \* incluem no valor final os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

Em seguida, foi determinado o custo de controle de perdas reais, o custo de capital para aumento de capacidade e o custo de produção da água, seguindo o que foi proposto por Wyatt (2010), cujas equações foram resumidas no QUADRO 15 e descritas na página 69.

Observa-se que, segundo Wyatt (2010), o nível econômico de vazamentos envolve a soma de três curvas: custo de controle de perdas reais (a), do custo de capital para aumento da capacidade (b) e do custo de produção da água (c), conforme FIGURA 30, cujas equações foram resumidas no QUADRO 15. Entretanto, cabe salientar que o custo de produção de água, neste trabalho, desconsidera os custos provenientes do volume de perdas aparentes e do volume utilizado pelos consumidores, uma vez que foram avaliados apenas os custos dos vazamentos na rede de distribuição.

QUADRO 15 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CONTROLE DE PERDAS REAIS, DO CUSTO DE CAPITAL PARA AUMENTO DE CAPACIDADE E DO CUSTO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA, ADAPTADA DE WYATT (2010)

(continua)

NOME	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	Nº
	$C_{pl} = \frac{C_s \times D \times N \times \beta}{\left[ \left( \frac{c \times p}{D} \right) \times \frac{l_p/100}{(1 - l_p/100)} \right]^{-\alpha}}$ <p>Sendo:</p>	<p>Cpl = custo anual de perdas reais (R\$/ano);  Cs = custo da pesquisa e consertos (R\$/km);  D = extensão da rede por ligação (km/ligação);  N = número de ligações (ligação);  c = consumo per capita (m³/habitante.dia);  p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação);  lp = perda real (%);  α (coeficiente alfa) = coeficiente agregado de vazamentos inevitáveis e reportados (m³/km.dia);  PRI = perdas reais inevitáveis (m³/km.dia)</p>	(8)*
(a) Custo de Controle de Perdas Reais - C <sub>pl</sub>	$\alpha = \left\{ \frac{[(N_{rede} - N_{rep}) \times T_{rede} \times Q_{rede}] + [(N_{ramal} - N_{rap}) \times T_{ramal} \times Q_{ramal}]}{\left[ \frac{(P/50)^{N1} \times 24}{365 \times Lm} \right] + PRI} \right\} \times$	<p>Nrede = Número de consertos de vazamentos de rede (adimensional);  Nrep = Número de vazamentos de rede identificados pela equipe de vazamentos (adimensional);  Trede = duração média do vazamento na rede (dias);  Tramal = duração média do vazamento no ramal (dias);  Qrede = Vazão do vazamento na rede (m³/h);  Qramal = Vazão do vazamento no ramal (m³/h);  P = pressão média da rede de distribuição (mca);  N1 = coeficiente de vazamento (adimensional);  Lm = Extensão da rede de distribuição (km);  β (coeficiente beta) = coeficiente agregado de vazamentos não reportados (m³/km.dia/ano).  PR = Perdas reais (m³/ano).</p>	(9)
	$\beta = \frac{PR}{365 \times Lm} - \alpha$		(10)
	$C_c = CRF \times F \times (1 + r/100)^{-[E - (1/1 - lp/100)] / (G/100)}$ <p>Sendo:</p>	<p>Cc = custo do capital para aumento da capacidade (R\$/ano);  CRF = fator de recuperação do capital, que faz a conversão para o custo anual a partir do valor presente de um custo de capital futuro (adimensional);  F = custo futuro para expansão da capacidade (R\$);  r = taxa de juros anuais (% ao ano);  Q<sub>c0</sub> = Consumo micromedido somado às perdas aparentes ano base da análise (m³/dia);  E = relação entre a capacidade de produção e o consumo micromedido somado às perdas aparentes no ano base (Q<sub>c0</sub>) (adimensional);  lp = perda real (%);  G = taxa de crescimento populacional (%/ano).  z = período projetado para expansão da capacidade, geralmente adotado igual a 10 anos (WYATT, 2010);  k = coeficiente de custo do capital para expansão (R\$/m³.dia);  b = fator de economia de escala, tipicamente entre 0,7 e 0,8 (adimensional) (WYATT, 2010).</p>	(11)
(b) custo de capital para aumento de capacidade - C <sub>c</sub>	$CRF = \frac{r/100 \times (1 + r/100)}{[(1 + r/100)^z - 1]}$ $F = k \times (z \times G \times Q_{c0})^b$		(12)
			(13)

QUADRO 15 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE CONTROLE DE PERDAS REAIS, DO CUSTO DE CAPITAL PARA AUMENTO DE CAPACIDADE E DO CUSTO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA, ADAPTADA DE WYATT (2010)

(conclusão)

NOME	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	Nº
(c) custo de produção da água	$C_v = C_w \times \left[ \frac{N \times c \times p \times 365}{(1 - l_p/100)} - N \times c \times p \times 365 \right]$	<p>Cv = custo anual da produção de água (R\$/ano);</p> <p>Cw = custo variável da produção de água por m³ (R\$/m³);</p> <p>N = número de ligações (ligação);</p> <p>c = consumo per capita (m³/habitante.dia);</p> <p>p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação)</p> <p>lp = perda real (%).</p>	(14)

FONTE: Autora (2019) com base nas equações desenvolvidas por Wyatt (2010).

Obs.: \* A equação original de Wyatt (2010) propõe a multiplicação no numerador por 365. Entretanto, por meio da análise dimensional efetuada, verificou-se que essa multiplicação está incorreta.

Para determinar o volume de perdas reais correspondente do nível econômico de vazamento para cada DMC do SAIC foi utilizada a equação (22).

Sendo:

$$PRE = \frac{N \times c \times p \times 365}{(1 - l_p \text{ econômico}/100)} - N \times c \times p \times 365$$

PRE = volume de perdas reais correspondente ao nível econômico de vazamento (m³/ano);  
N = número de ligações (ligação);  
c = consumo per capita (m³/habitante.dia);  
p = número de consumidores por ligação (habitante/ligação)  
lp econômico = nível econômico de vazamento (%).

Os valores das perdas reais correspondente ao nível econômico de vazamento foram utilizados para determinar um indicador de perdas reais por ligação econômico (IPLr econômico) e índice de vazamentos da infraestrutura econômico (IVI econômico) para cada DMC, conforme equações (23) e (24), respectivamente.

Indicador de Perdas reais por Ligação - IPLr econômico (L/ligação.dia)

$$IPLr \text{ econômico} = \frac{PRE \times 1000}{N \times 365}$$

Sendo:

$$PRE = \text{volume de perdas reais correspondente ao nível econômico de vazamento (m³/ano);}$$

N = número de ligações de água (m³/ano)

Índice de Vazamentos da Infraestrutura – IVI econômico (adimensional)

$$IVI \text{ econômico} = \frac{IPLr \text{ econômico}}{PRI}$$

Sendo:

$$PRI = \text{perdas reais inevitáveis, determinado na etapa 1 deste trabalho.}$$

$$PRI = \left( 18 \times \frac{L_m}{N} + 0,8 + 25 \times L_p \right) \times \frac{P}{10}$$

Além do IPLr econômico e do IVI econômico, também foram identificadas DMCs que possuem maior retorno econômico por investimento necessário, ou seja, é a relação entre a economia R e o investimento R. A economia R representa o quanto

pode ser economizado em produção e no aumento da capacidade se as perdas reais atingirem o nível econômico de vazamento. Para calcular a economia  $R$  foi utilizada a equação (25).

$$\text{economia}_R = (\text{Cv } 2017 - \text{Cv econômico}) + (\text{Cc } 2017 - \text{Cc econômico}) \quad (25)$$

Sendo:

$\text{economia}_R = (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cv } 2017 = \text{custo de produção em } 2017 (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cv econômico} = \text{o custo de produção referente ao nível econômico de vazamentos } (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cc } 2017 = \text{custo de capital para aumento de capacidade em } 2017 (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cc econômico} = \text{custo de capital para aumento de capacidade para o nível econômico de vazamentos } (\text{R\$/ano})$ .

A necessidade de investimento em perdas reais, denominado investimento  $R$ , representa o quanto é necessário que a concessionária invista em controle de perdas reais no DMC para se atingir o nível econômico de vazamento. O investimento  $R$  foi determinado pela equação (26).

$$\text{investimento}_R = \text{Cpl econômico} - \text{Cpl } 2017$$

Sendo:

(26)

$\text{investimento}_R = (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cpl econômico} = \text{custo de controle de perdas reais referente ao nível econômico de vazamentos } (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{Cpl } 2017 = \text{custo de controle de perdas reais em } 2017 (\text{R\$/ano})$ .

Portanto, o retorno econômico das perdas reais (retorno  $R$ ) foi calculado em função do valor que pode ser economizado (economia  $R$ ) para cada real investido na DMC (investimento  $R$ ), conforme equação (27).

$$\text{retorno}_R = \frac{\text{economia}_R}{\text{investimento}_R}$$

Sendo:

(27)

$\text{retorno}_R = (\text{adimensional})$ ;

$\text{economia}_R = (\text{R\$/ano})$ ;

$\text{investimento}_R = (\text{R\$/ano})$ .

## b) Determinação e avaliação do nível econômico de perdas aparentes

A determinação do nível econômico de perdas aparentes considerou apenas a parcela da submedição dos hidrômetros, conforme representação esquemática da FIGURA 31.

FIGURA 31 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SUBMEDIÇÃO ECONÔMICA PARA DEZEMBRO DE 2017



FONTE: Autora (2019).

Conforme representado na FIGURA 31, no volume de submedição dos hidrômetros do mês de Dezembro de 2017 (determinado na etapa 1) foi aplicado a diretriz de troca de hidrômetro utilizado pela SANEPAR (apresentada na TABELA 4), a fim calcular o potencial de recuperação do volume submedido (PRS).

TABELA 4 - DIRETRIZ DE TROCA DE HIDRÔMETRO DA SANEPAR

FAIXA DE VAZÃO MENSAL DO HIDRÔMETRO (m³/mês)	PERÍODO DE UTILIZAÇÃO DO HIDRÔMETRO (anos)
6 - 10	10
11 – 20	6
21 – 30	9
30 – 60	6
61 - 200	5
Superior a 200	4

FONTE: SANEPAR (2017b).

O PRS, calculado conforme a equação (28) representa o volume de água que um DMC recuperaria se todos os hidrômetros que deveriam ter sido substituídos fossem efetivamente trocados por hidrômetros novos.

$$PRS = \text{volume medido faturado} \times \frac{0,947}{IDM/100} - \text{volume medido faturado} \quad (28)$$

Sendo:

PRS = potencial de recuperação do volume submedido do mês de Dezembro de 2017 (m³/mês);

volume medido faturado dez = volume medido faturado do mês de Dezembro de 2017 (m³/mês), determinado na etapa 1;

IDM = indicador de desempenho de medição do hidrômetro instalado (%). É um indicador variável conforme o tempo de instalação do hidrômetro, que foi calculado conforme procedimento apresentado pela AESBE (2015).



A diferença entre o volume de submedição e o potencial de recuperação do volume submedido, ambos considerados para o mês de Dezembro de 2017, define o volume da submedição econômica para o mês de referência (VSED), conforme apresentado pela equação (29).

$$\text{VSED} = \text{volume submedição dez} - \text{PRS}$$

VSED = volume de submedição econômica para o mês de Dezembro de 2017 (m³/mês);

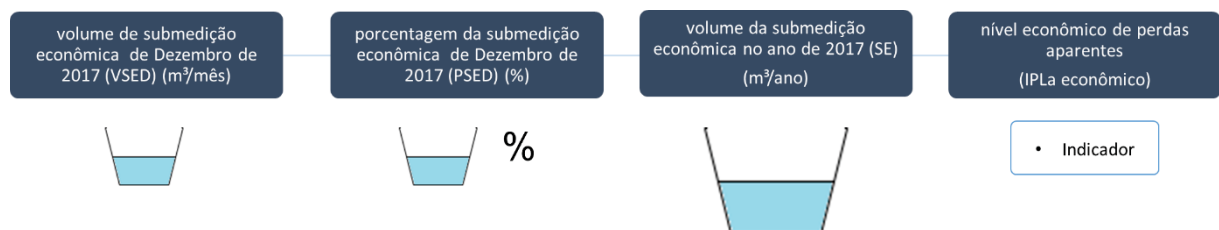
volume submedição dez = volume de submedição calculado para o mês de Dezembro de 2017 (m³/mês). Esse volume foi determinado na etapa 1; (29)

PRS = potencial de recuperação do volume submedido (m³/mês).

Na sequência, conforme representado na FIGURA 32, o VSED foi então convertido para porcentagem (PSED) por meio da aplicação da equação (30) para então calcular a submedição econômica (SE) para o ano de 2017, conforme a equação (31).

Por fim, o nível econômico das perdas aparentes foi representado por meio do cálculo do indicador de perdas aparentes por ligação econômico (IPLa econômico), conforme equação (32).

FIGURA 32 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS APARENTES



FONTE: Autora (2019).

Sendo:

PSED = porcentagem da submedição econômica para o mês de Dezembro de 2017 (%);

VSED = Volume de submedição econômica para o mês de Dezembro de 2017 (m³/mês). (30)

volume submedição dez = volume de submedição calculado para o mês de Dezembro de 2017 (m³/mês). Esse volume foi determinado na etapa 1;

volume medido faturado dez = volume medido faturado do mês de Dezembro de 2017 (m³/mês). Esse volume foi determinado na etapa 1.

$$\text{PSED} = \frac{\text{VSED}}{\left( \frac{\text{volume submedição dez} + \text{volume medido faturado dez}}{\text{volume medido faturado dez}} \right)}$$

$$SE = \frac{(\text{volume medido faturado 2017} + \text{volume perdas aparentes 2017})}{PSED/100}$$

Sendo:

SE = volume da submedição econômica no ano de 2017 (m³/ano);

volume medido faturado 2017 = volume medido e faturado no ano de 2017 (m³/ano). Esse volume foi determinado na etapa 1;

volume submedição 2017 = volume de submedição no ano de 2017 (m³/ano). Esse volume foi determinado na etapa 1;

PSED = Porcentagem da submedição econômica para o mês de Dezembro de 2017 (%).

(31)

$$IPLa \text{ econômico} = \frac{SE \times 1000}{N \times 365}$$

Sendo:

IPLa econômico = indicador de perdas aparentes por ligação econômico (L/ligação.dia);

SE = volume da submedição econômica no ano de 2017 (m³/ano). Foi determinado pela equação (31);

N = número de ligações do DMC (ligação).

(32)

Também foram identificadas DMCs que possuem maior retorno econômico por investimento necessário e assim como nas perdas reais, o retorno econômico é a relação entre a economia e o investimento. A economia <sub>A</sub> corresponde ao dinheiro que pode ser obtido em função recuperação do volume submedido e é calculada conforme a equação (33).

$$\text{economia}_A = \text{benefício} \times \text{tarifa média} \quad (33)$$

Sendo:

economia <sub>A</sub> = (R\$/ano);

benefício = diferença entre o volume de perdas aparentes em 2017 (PA) (calculado na etapa 1) e o volume da submedição econômica no ano de 2017 (SE) (m³).

tarifa média = corresponde ao valor praticado de tarifa média em 2017 e foi definido na etapa preliminar (R\$/m³.ano).

A outra parcela do cálculo do retorno corresponde ao investimento nas perdas aparentes, denominado investimento <sub>A</sub>. O investimento <sub>A</sub> é corresponde ao investimento que deve ser feito no DMC para a troca de hidrômetros e é calculada conforme a equação (34).

$$\text{investimento}_A = \text{custo de substituição} \times \text{quantidade} \quad (34)$$

Sendo:

investimento <sub>A</sub> = (R\$/ano);

custo de substituição = custo de substituição para a troca de hidrômetros no DMC (R\$/hidrômetro)

quantidade = corresponde a quantidade de hidrômetros que devem ser substituídos no DMC (hidrômetro)

Assim, expressa-se o cálculo do retorno econômico das perdas aparentes conforme indicado na equação (35).

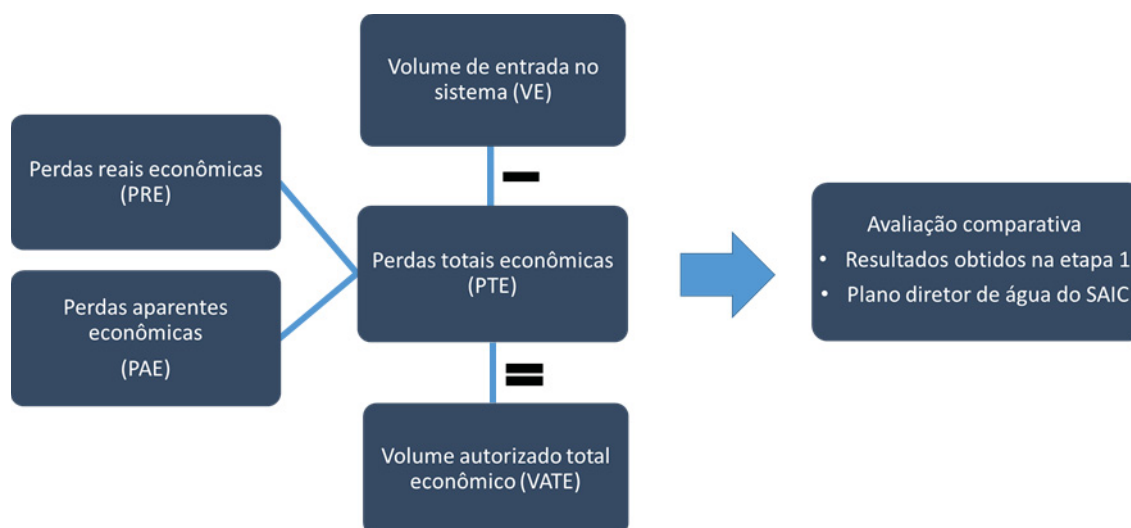
$$\text{retorno}_A = \frac{\text{economia}_A}{\text{investimento}_A} \quad \text{Sendo:} \quad \text{retorno}_A = (\text{adimensional}) \quad (35)$$

economia<sub>A</sub> = (R\$/ano);  
investimento<sub>A</sub> = (R\$/ano)

- c) Determinação da perda total econômica e do volume autorizado total econômico e avaliação por meio de comparação com os resultados obtidos na etapa 1 e os cenários previsto no plano diretor de água do SAIC.

As perdas totais econômicas (PTE) foram calculadas mediante a soma das perdas reais econômicas (PRE) e aparentes econômicas (PAE). O volume autorizado total econômico (VATE) também foi calculado a partir da diferença entre o volume de entrada no sistema e as perdas totais econômicas (PTE). A representação esquemática desse cálculo consta na FIGURA 33. Com base nos resultados econômicos obtidos, foi feita a avaliação destes por meio de comparação com os resultados obtidos na etapa 1 desta pesquisa e também com os cenários futuros de fornecimento de água propostos no plano diretor de água do SAIC.

FIGURA 33 - ESQUEMATIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS ECONÔMICAS E DO VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO



FONTE: Autora (2019).

Os procedimentos de cálculo para a determinação das perdas totais econômicas (PTE) e do volume autorizado total econômico (VATE) estão apresentados no QUADRO 16.

QUADRO 16 - RESUMO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS ECONÔMICAS E O VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO

TIPO DE PERDA	FORMA DE DETERMINAÇÃO (EQUAÇÃO)	DESCRIÇÃO	Nº.
Perdas totais econômicas (PTE) (m³/ano)	$PTE = PRE + PAE$	PRE = volume de perdas reais correspondente ao nível econômico de vazamento (m³/ano). Calculado conforme equação (22), página 98 PAE = volume da submedição econômica no ano de 2017 (m³/ano). Calculado conforme equação (31), página 102.	(36)
Volume autorizado total econômico (VATE) (m³/ano)	$VATE = VE - PTE$	VE = Volume de entrada no sistema, que corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório, somado ao volume importado para o DMC e descontado o volume exportado do DMC (m³/ano). PTE = perdas totais econômicas (m³/ano).	(37)

FONTE: Autora (2019).

### 3.2.4 ETAPA 3: PROPOSTA DE UM MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

Tendo em vista que atualmente os modelos de determinação das perdas de água não são integrados com os modelos para determinação do nível econômico de perdas de água e, em função da dificuldade em agrupar todas as informações, considerando o tempo dos técnicos envolvidos, foi proposto um modelo simplificado, o qual associa os resultados das avaliações de perdas de água e dos níveis econômicos.

O modelo simplificado integrado é composto por duas etapas:

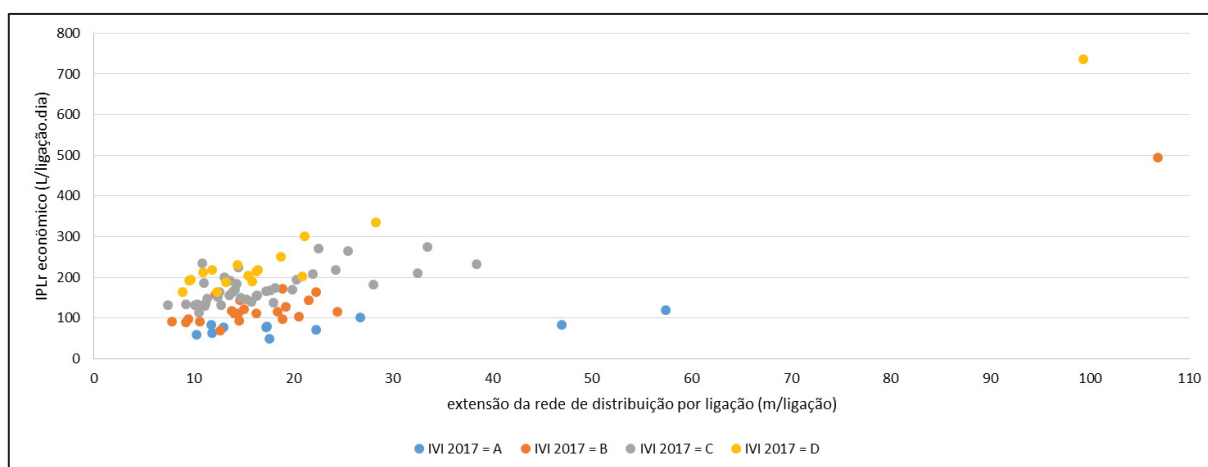
- Elaboração da tabela resumo com base no nível econômico de perdas de água, nas perdas de água existentes e na extensão de rede de distribuição por ligação (m/ligação);
- Previsão de redução de custos de produção.

- a) Elaboração da tabela resumo com base no nível econômico, nas perdas de água existentes e na extensão de rede de distribuição por ligação (m/ligação)

Para a elaboração da tabela resumo, inicialmente são necessários os resultados do Índice de Vazamento da Infraestrutura (IVI existente) categorizados de acordo com Liemberger e McKenzie (2005) e obtidos a partir de um método para decomposição de perdas de água. Também faz-se necessário os resultados do Indicador de Perdas reais por Ligação (IPL econômico) obtido de um método de cálculo para a determinação do nível econômico de perdas, além dos parâmetros físicos do sistema: a extensão de rede de distribuição e o número de ligações.

De posse de tais dados, elabora-se um gráfico que correlaciona o IVI existente categorizado com as variáveis extensão de rede de distribuição (RDA) por ligação (m/ligação) e o IPLr econômico, conforme exemplo da FIGURA 34. No exemplo ilustrado, o IVI existente corresponde aos valores o IVI 2017.

FIGURA 34 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO O IVI EXISTENTE E EXTENSÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO POR LIGAÇÃO



FONTE: Autora (2019).

Depois de elaborar o gráfico, deve-se identificar faixas de valores do IPLr econômico para cada valor de extensão RDA por ligação e segundo o IVI. Na sequência, os resultados devem ser agrupados em uma tabela resumo, conforme o exemplo da TABELA 5.

TABELA 5 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO E IVI 2017

IVI 2017 (ADIMENSIONAL)		IPLr ECONÔMICO (L/ligação.dia) PARA UMA RELAÇÃO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO DE				
		10 m/ligação	15 m/ligação	20 m/ligação	25 m/ligação	30 m/ligação
A	1 – 4					
B	4 - 8					
C	8 - 16					
D	> 16					

FONTE: Autora (2019)

Assim, ao final é possível determinar em função do IVI e da relação extensão da rede por ligação, ambos existentes, qual é o IPLr econômico do sistema avaliado.

b) Previsão de redução de custos de produção

Para a previsão de redução de custos de produção, são necessários três valores:

1. Os resultados do Indicador de Perdas reais por Ligação (IPLr) obtidos de um método para decomposição de perdas de água;
2. Os resultados do Indicador de Perdas reais por Ligação (IPL econômico) de um método de cálculo para a determinação do nível econômico de perdas e dos
3. Os custos totais de controle de perdas reais, tanto do sistema existente quanto do nível econômico de perdas.

De posse de tais resultados, inicialmente é calculado o Índice de Potencial redução de Vazamentos (IPV). O IPV foi um novo índice criado para relacionar quantas vezes as perdas existentes no sistema está distante do nível econômico, conforme apresentado na equação (38).

$$IPV = \frac{IPLr \text{ existente}}{IPLr \text{ econômico}} \quad (38)$$

Sendo:

IPV = Índice de Potencial redução de Vazamentos (adimensional);

IPLr existente = indicador de perdas reais por ligação para o ano analisado (L/ligação.dia);

IPLr econômico = indicador de perdas reais por ligação econômico (L/ligação.dia).

Em seguida, é necessário determinar a redução do custo total por ligação, que corresponde a diferença de custos referentes a produção de água no cenário existente e no econômico dividido pelo número de ligações, conforme a equação (39).

$$\text{redução do custo total por ligação} = \frac{\text{custo total existente} - \text{custo total econômico}}{N} \quad (39)$$

Sendo:

redução do custo total por ligação = (R\$/ligação.ano)

custo total existente = valor do custo de controle de perdas reais para o cenário existente (R\$/ano);

custo total econômico = valor do custo de controle de perdas reais para o cenário econômico (R\$/ano);

N = número de ligações (ligação).

Na sequência, plota-se em um gráfico o IPV no eixo x e a redução de custo total por ligação no eixo y, ajustando ao final uma equação para a série. Obtém-se ao final, uma equação que relaciona o IPV a uma estimativa de redução nos custos de produção, quando o nível econômico do sistema avaliado for atingido.



## 4 RESULTADOS

Os resultados deste estudo foram organizados tomando como referência os objetivos específicos da pesquisa. Dessa forma, este capítulo está organizado em três seções, uma relativa aos resultados obtidos por meio da aplicação do método do balanço hídrico, outra relacionada aos níveis econômicos de vazamento e perdas aparentes e, finalmente, uma seção que traz uma sugestão de modelo simplificado para integração entre a avaliação das perdas de água em SAAs e a avaliação dos níveis econômicos de perdas de água.

Do total de 842.033 ligações do SAIC, foram avaliadas 706.142 ligações, o que corresponde a uma cobertura de aproximadamente 84% do SAIC. Todos os resultados alcançados encontram-se resumidos no apêndice 1 e os dados de entrada levantados na etapa preliminar encontram-se no anexo 1.

### 4.1 DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES DO SAIC

A aplicação do método do balanço hídrico nos 92 DMCs selecionados do SAIC resultou nos valores de volume autorizados totais (volume de entrada menos as perdas totais), perdas totais, perdas reais e perdas aparentes apresentadas na TABELA 6.

TABELA 6 - VOLUMES AUTORIZADOS TOTAIS, PERDAS TOTAIS, PERDAS REAIS E PERDAS APARENTES DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC EM 2017

(continua)					
DMC	VOLUME DE ENTRADA DO SISTEMA (VE)	VOLUME AUTORIZADO TOTAL (VAT)	PERDA TOTAL (PT)	PERDAS REAIS (PR)	PERDAS APARENTES (PA)
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
1	2.823.192	1.470.841	1.352.351	1.169.114	183.237
2	198.611	164.478	34.133	19.052	15.081
3	7.843.784	3.292.259	4.551.525	3.931.215	620.310
4	7.601.558	4.238.751	3.362.807	2.833.017	529.790
5	3.679.629	1.146.122	2.533.507	2.366.355	167.152
6	3.892.959	3.156.322	736.637	403.954	332.683
7	5.223.251	2.745.487	2.477.764	2.080.918	396.846
8	1.695.658	993.400	702.258	559.113	143.145
9	7.502.918	4.781.757	2.721.161	2.123.145	598.016
10	3.228.940	2.551.075	677.865	395.391	282.474
11	3.894.764	1.910.923	1.983.841	1.755.301	228.540

TABELA 5 - VOLUMES AUTORIZADOS TOTAIS, PERDAS TOTAIS, PERDAS REAIS E PERDAS APARENTES DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC EM 2017

(continuação)					
DMC	VOLUME DE ENTRADA DO SISTEMA (VE)	VOLUME AUTORIZADO TOTAL	PERDA TOTAL (PT)	PERDA REAL (PR)	PERDA APARENTE (PA)
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
12	1.550.426	721.861	828.565	731.084	97.481
13	797.480	392.364	405.116	355.615	49.501
14	3.460.253	1.549.351	1.910.902	1.675.146	235.755
15	3.941.197	2.781.876	1.159.321	859.672	299.649
16	4.691.181	2.709.619	1.981.562	1.166.628	814.934
17	1.870.323	804.130	1.066.193	952.835	113.358
18	2.413.769	1.254.428	1.159.341	990.001	169.340
19	4.940.968	2.603.791	2.337.177	1.970.422	366.755
20	1.960.432	1.022.389	938.043	782.599	155.444
21	735.749	327.989	407.760	355.266	52.494
22	1.576.866	836.671	740.195	386.657	353.538
23	6.610.485	4.286.802	2.323.683	1.787.351	536.332
24	2.638.727	1.250.375	1.388.352	1.189.049	199.302
25	2.169.401	1.166.179	1.003.222	846.815	156.408
26	434.991	217.624	217.367	175.404	41.962
27	1.733.813	779.188	954.625	851.975	102.650
28	1.274.648	584.956	689.692	602.389	87.304
29	1.085.257	456.248	629.009	557.974	71.035
30	3.880.791	1.870.227	2.010.564	1.745.590	264.974
31	1.475.958	739.564	736.394	641.370	95.024
32	4.049.795	1.943.442	2.106.353	1.826.135	280.219
33	164.555	67.131	97.424	82.490	14.934
34	3.741.432	1.983.271	1.758.161	1.459.200	298.961
35	12.009.285	7.250.302	4.758.983	3.645.486	1.113.497
36	1.368.500	701.583	666.917	572.360	94.557
37	1.126.737	404.862	721.875	578.339	143.536
38	5.636.517	3.942.640	1.693.877	1.235.173	458.704
39	2.846.581	1.954.779	891.802	514.444	377.358
40	1.314.860	554.975	759.885	611.460	148.425
41	560.450	419.899	140.551	84.962	55.589
42	1.287.545	640.171	647.374	552.117	95.257
43	12.098.567	7.900.651	4.197.916	3.008.785	1.189.131
44	1.422.427	723.698	698.729	599.762	98.967
45	757.140	357.503	399.637	345.504	54.133
46	667.947	327.238	340.709	291.186	49.523
47	3.171.251	2.282.863	888.388	602.896	285.492
48	7.969.372	4.454.289	3.515.083	2.775.712	739.371
49	1.398.859	713.501	685.358	591.829	93.529
50	3.259.530	1.806.359	1.453.171	1.231.480	221.691
51	2.200.039	1.231.701	968.338	801.826	166.513
52	1.415.994	796.259	619.735	505.202	114.533
53	2.724.864	1.410.133	1.314.731	1.106.841	207.890
54	2.472.973	1.608.734	864.239	646.930	217.309
55	3.913.145	2.023.329	1.889.816	1.611.427	278.389
56	540.132	273.462	266.670	216.541	50.129
57	1.823.882	996.582	827.300	691.375	135.925
58	3.163.604	2.729.547	434.057	133.959	300.098
59	3.691.264	2.263.392	1.427.872	1.164.690	263.182

TABELA 5 - VOLUMES AUTORIZADOS TOTAIS, PERDAS TOTAIS, PERDAS REAIS E PERDAS APARENTES DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC EM 2017

					(conclusão)
DMC	VOLUME DE ENTRADA DO SISTEMA (VE)	VOLUME AUTORIZADO TOTAL (VAT)	PERDA TOTAL (PT)	PERDA REAL (PR)	PERDA APARENTE (PA)
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
60	3.251.762	1.657.056	1.594.706	1.371.439	223.266
61	7.330.438	5.279.139	2.051.299	1.487.098	564.201
62	357.091	193.368	163.723	127.255	36.467
63	12.439.431	7.083.151	5.356.280	3.975.423	1.380.857
64	1.688.222	969.896	718.326	581.891	136.434
65	545.588	265.297	280.291	235.613	44.678
66	425.983	251.801	174.182	138.468	35.714
67	10.918.621	6.805.362	4.113.259	2.832.200	1.281.059
68	581.300	372.305	208.995	151.834	57.161
69	1.643.872	1.126.918	516.954	374.439	142.515
70	562.180	355.899	206.281	152.452	53.829
71	1.211.329	827.270	384.059	287.326	96.732
72	2.592.082	1.630.414	961.668	752.494	209.174
73	156.771	125.357	31.414	21.170	10.244
74	706.427	456.448	249.979	179.969	70.010
75	708.057	480.423	227.634	160.453	67.181
76	554.208	360.091	194.117	137.912	56.205
77	1.486.556	910.636	575.920	434.680	141.240
78	855.396	580.643	274.753	192.677	82.077
79	2.044.651	1.437.309	607.342	419.940	187.401
80	1.378.605	1.046.749	331.856	193.240	138.616
81	1.422.505	994.982	427.523	302.217	125.306
82	246.683	161.238	85.445	58.221	27.224
83	1.080.404	737.681	342.723	239.419	103.305
84	968.509	784.422	184.087	81.083	103.004
85	8.298.084	6.482.640	1.815.444	891.578	923.866
86	583.625	501.783	81.842	29.455	52.386
87	1.778.005	1.175.186	602.819	442.682	160.137
88	3.131.714	2.085.167	1.046.547	702.307	344.240
89	1.649.312	1.238.466	410.846	226.696	184.151
90	208.318	152.069	56.249	32.983	23.266
91	1.742.848	1.281.449	461.399	284.955	176.444
92	164.264	143.642	20.622	19.172	1.451
TOTAL	256.338.067	152.523.599	103.814.467	81.267.268	22.547.199

FONTE: Autora (2019).

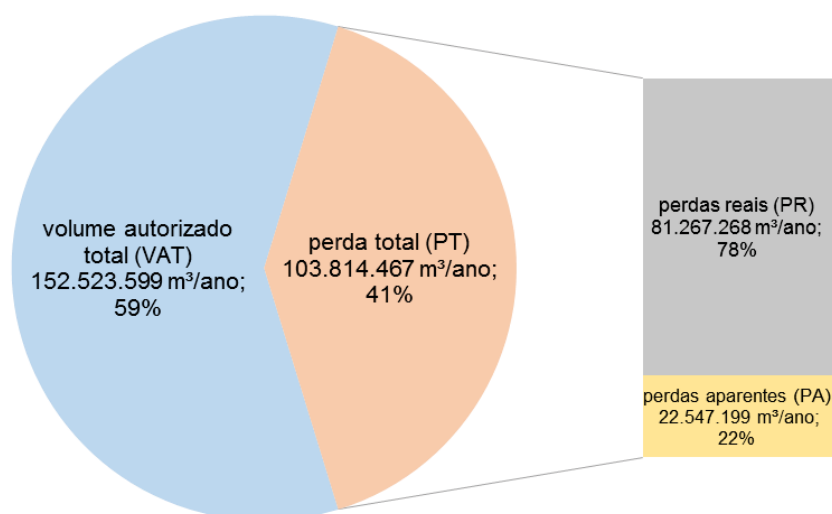
Fazendo uma comparação em relação ao tamanho dos DMCs que constitui o SAIC, verifica-se que alguns, isoladamente, tem tamanho igual ou superior a duas cidades. Observa-se, por exemplo, que a população da cidade de Nanaimo (Canadá) e Drama (Grécia) correspondem a 90.504 habitantes (RDN, 2016) e 44.823 habitantes (DRAMA, 2011) respectivamente; porém, a soma do número de habitantes dessas duas cidades (135.327 habitantes) é inferior a população atendida pelo DMC 63, que é o maior DMC do SAIC e atende a uma população aproximada de

150.000 habitantes. O mesmo se verifica quando os volumes de perdas são comparados entre esses sistemas: o volume de perdas totais para o DMC 63, de 5.356.280 m<sup>3</sup>/ano conforme apresentado na TABELA 6, é superior à soma do volume de perdas totais das duas cidades, de 3.719.000 m<sup>3</sup>/ano, sendo 1.946.000 m<sup>3</sup>/ano referente a cidade de Nanaimo e 1.773.000 m<sup>3</sup>/ano para a cidade de Drama.

Portanto, observa-se a complexidade relacionada ao porte do sistema SAIC, onde DMCs, que são localidades dentro do município, se comparam a cidades inteiras tanto em termos de população quanto de volume de perdas.

Em uma análise global, observa-se que ao considerar os 92 DMCs selecionados apresentados na TABELA 6, as perdas totais correspondem a 103.814.467 m<sup>3</sup>/ano ou 3.291,93 L/s (41% do volume total de entrada do sistema). Deste valor, 2.576,97 L/s (78%) corresponde as perdas reais (FIGURA 35), o que equivale à capacidade dos sistemas produtores do Passaúna e Miringuava, aproximadamente.

FIGURA 35 - VOLUME AUTORIZADO TOTAL, PERDA TOTAL, PERDA REAL E PERDA APARENTE DO SAIC EM 2017



FONTE: Autora (2019).

Em 2006, o Banco Mundial realizou um estudo em 900 SAAs e encontrou uma proporção entre perdas reais e aparentes de 80% e 20%, respectivamente, para países desenvolvidos; e de 60% e 40% para países em desenvolvimento, sendo tais proporções consideradas como referência de perdas de água em SAA (KINGDOM, LIEMBERGER e MARIN, 2006). Entretanto, essas proporções apenas estabelecem

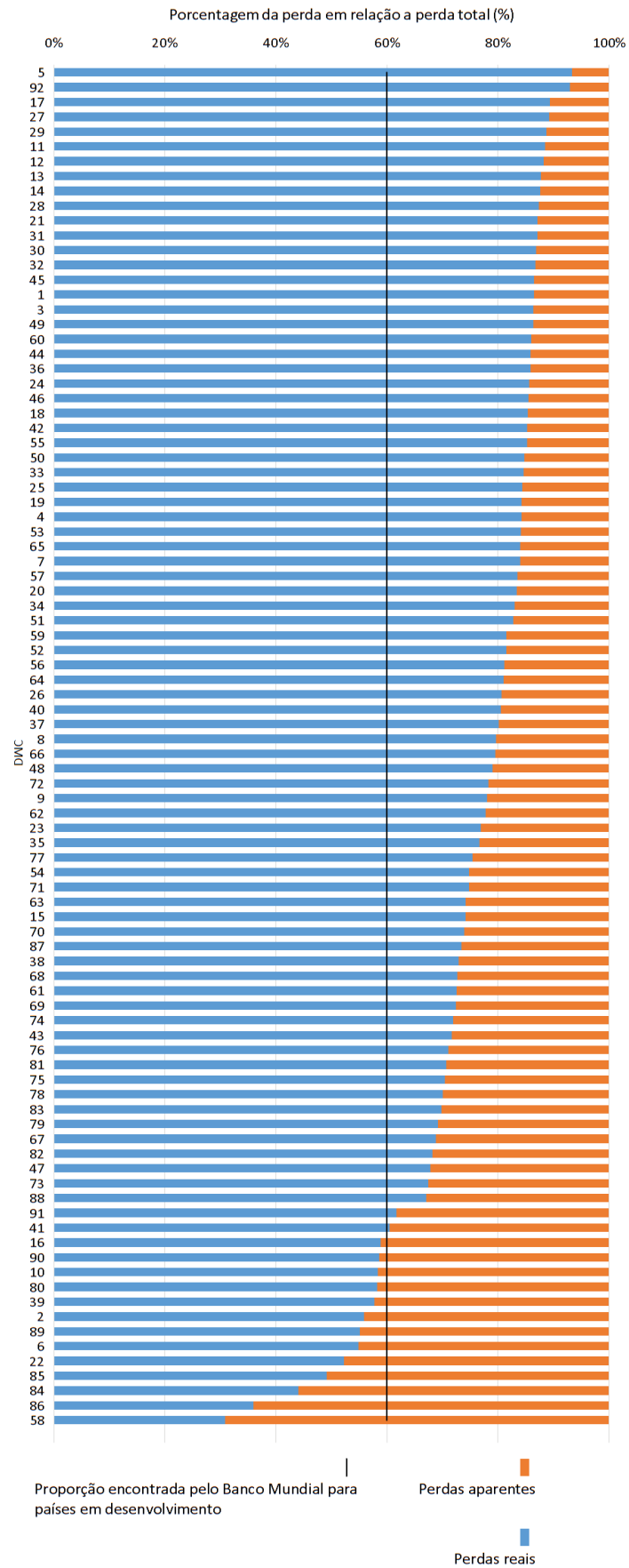
condições que os SAA avaliados possuíam, e não necessariamente são condições ideais. Logo, é possível que essas proporções não retratem a realidade do SAA, como foi observado nos resultados do balanço hídrico do SAIC.

O SAIC, quando considerado como um todo, se aproximou de valores de perdas reais e aparentes de países desenvolvidos (FIGURA 35), o que pode ser justificado pelo fato de Curitiba ser uma região com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,826, classificado como muito alto segundo o Atlas Brasil (2013). Porém, quando se observa cada DMC apresentado na TABELA 6, muitos apresentam valores percentuais de perdas reais e aparentes acima e abaixo do que foi encontrado pelo estudo do Banco Mundial para países em desenvolvimento (FIGURA 36). Dos 92 DMCs analisados, 78 resultaram com valores de perdas reais acima de 60%, sendo que os maiores valores observados correspondem aos DMCs 5 e 92, com 93% de perdas reais em relação a perda total. Já os demais DMCs ficaram abaixo da faixa verificada para países em desenvolvimento do Banco Mundial, sendo o menor observado no DMC 58, com 31% para perdas reais. Isso identifica o SAIC como um sistema bastante heterogêneo, onde aplicar apenas ações para combate e controle de perdas reais no sistema inteiro, como sugerido pela análise global, não seria eficiente para os DMCs onde a perda aparente predomina sobre a real.

Outra condição observada foi que não se deve avaliar e priorizar apenas DMCs com maiores volumes de entrada, uma vez que nem sempre sistemas de grande porte terão perdas de água superiores a sistemas de menor porte. Considerando o volume de perdas totais, o DMC 5 (o maior em perdas reais) resultou em 2.533.507 m<sup>3</sup>/ano (80,3 L/s), sendo muito superior ao quinto DMC com maior volume de entrada observado, o DMC 85, que possui 1.815.444 m<sup>3</sup>/ano (57,6 L/s) de perda total. O mesmo acontece com os volumes de perdas reais: para o DMC 5, o volume de perdas reais corresponde a 2.366.355 m<sup>3</sup>/ano (75 L/s); e para o DMC 85, 891.578 m<sup>3</sup>/ano (28 L/s).

Essa diferença em perdas de água observada entre os DMCs citados deve-se às condições variadas em que cada um está submetido, como por exemplo: diferentes tempos de instalação da rede de distribuição (RDA), diferentes materiais utilizados nas tubulações e diferentes pressões na RDA influenciam especialmente o volume de perdas reais. Associado também a essas condições, pode-se destacar o investimento em ações de combate e controle de perdas de água, o qual envolve estabelecer áreas prioritárias.

FIGURA 36 – PERDAS REAIS E APARENTES EM VALORES PERCENTUAIS DA PERDA TOTAL



FONTE: Autora (2019).

Portanto, as peculiaridades de cada DMC que compõe o SAIC requerem ações distintas para controle e combate de perdas de água, confirmando a premissa de não ser possível ou recomendável analisar o SAIC como um único sistema sem divisões, ou seja, como se fosse um único DMC.

No entanto, para a avaliação do desempenho de cada DMC em relação às perdas de água, foram aplicados indicadores e índices de avaliação já utilizados para a avaliação de outros SAAs de diferentes países e que são utilizados como referência para auxiliar o direcionamento de recursos para reparos na eliminação ou minimização de perdas. O primeiro indicador utilizado foi o Indicador de Perdas reais por Ligação, denominado IPLr 2017, sendo 2017 o ano de referência do estudo, cujos resultados foram apresentados na TABELA 7. Observa-se que a média do IPLr 2017 foi de 341,0 L/ligação.dia (com desvio padrão de  $\pm 233,5$  L/ligação.dia). Entretanto, o DMC 1 apresentou um IPLr 2017 de 1.480,0 L/ligação.dia, maior valor observado, e o DMC 86 o menor, com IPLr 2017 de 56,1 L/ligação.dia.

TABELA 7 - INDICADORES DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO DOS DMCS SELECIONADOS DO SAIC

DMC -	IPLr 2017 (L/ligação.dia)	DMC -	IPLr 2017 (L/ligação.dia)	DMC -	IPLr 2017 (L/ligação.dia)	DMC -	IPLr 2017 (L/ligação.dia)
1	1.480,8	25	418,2	49	324,7	73	160,7
2	696,0	26	395,5	50	315,9	74	162,9
3	1.013,7	27	434,3	51	303,3	75	157,1
4	905,0	28	424,8	52	297,7	76	158,1
5	830,3	29	427,4	53	305,6	77	166,7
6	482,2	30	413,7	54	271,5	78	134,1
7	647,3	31	409,6	55	307,5	79	130,3
8	579,8	32	405,9	56	280,1	80	106,1
9	567,8	33	395,8	57	285,9	81	128,6
10	423,5	34	387,0	58	103,7	82	121,7
11	620,6	35	354,4	59	271,6	83	124,1
12	613,7	36	396,2	60	272,3	84	69,8
13	606,7	37	367,7	61	224,9	85	77,2
14	580,9	38	331,4	62	240,8	86	56,1
15	484,0	39	254,0	63	226,7	87	114,4
16	375,8	40	353,4	64	246,3	88	99,6
17	558,8	41	264,5	65	233,8	89	80,1
18	524,6	42	369,9	66	213,5	90	82,1
19	502,8	43	306,3	67	181,1	91	65,9
20	458,6	44	356,7	68	188,7	92	98,5
21	471,3	45	343,3	69	186,4	<b>MÁXIMO</b>	<b>1.480,8</b>
22	271,9	46	333,8	70	189,3	<b>MÉDIA</b>	<b>341,0</b>
23	397,9	47	259,8	71	188,5	<b>MÍNIMO</b>	<b>56,1</b>
24	425,0	48	299,6	72	194,9	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>223,5</b>

FONTE: Autora (2019).

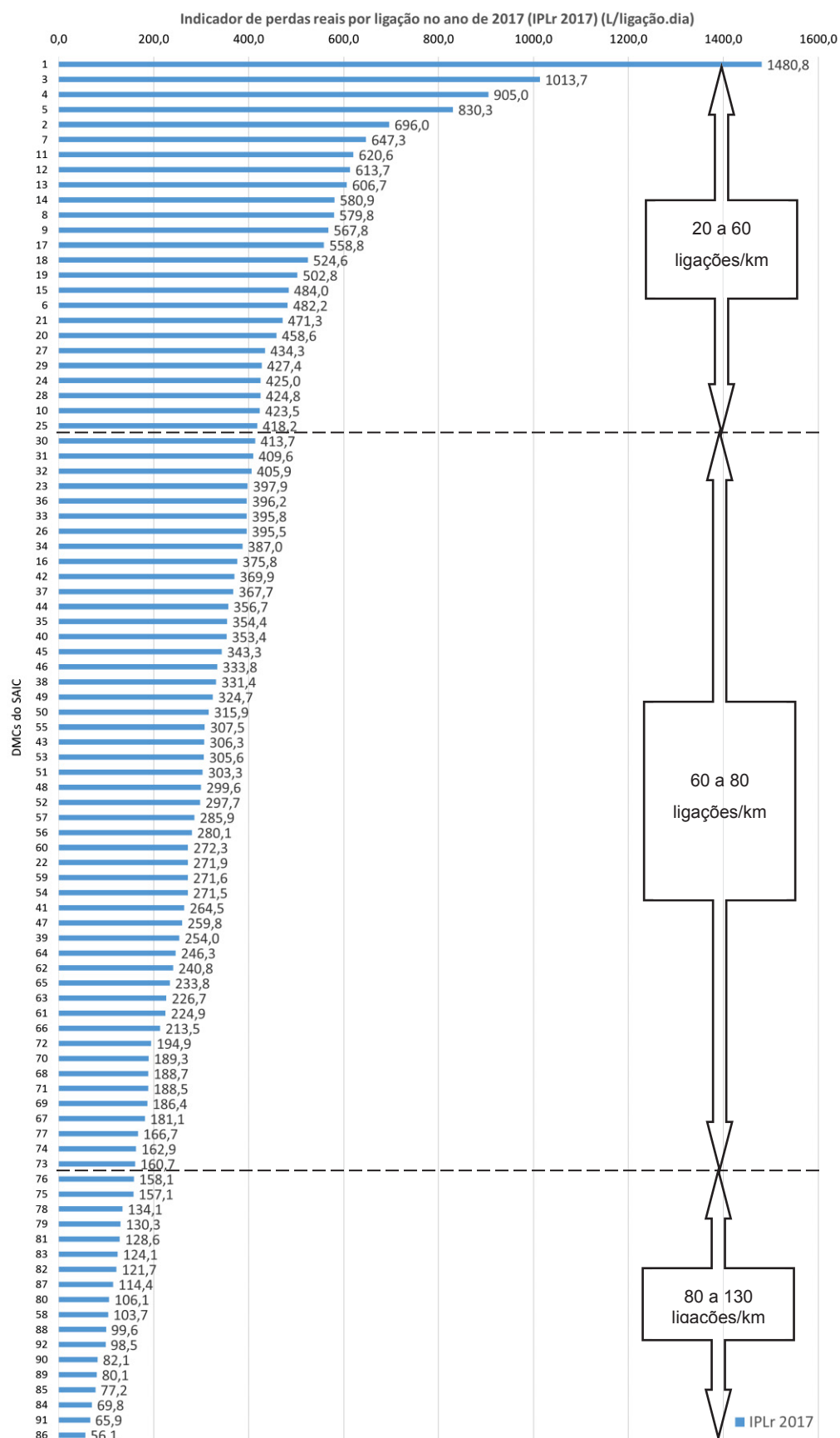
Essas diferenças observadas quanto aos valores do IPLr 2017 podem estar relacionadas às densidades de ligações de cada DMC, cuja comparação está representada na FIGURA 37.

Os menores valores de indicadores IPLr observados, encontrados nos DMCs 76, 75, 78, 79, 81, 83, 82, 87, 80, 58, 88, 92, 90, 89, 85, 84, 91 e 86, tendem a representar áreas com elevada densidade de ligações (entre 80 ligações/km e 130 ligações/km), podendo ser consideradas áreas mais residenciais por estarem incluídas nas ZR 1, ZR 2, ZR 3 e ZR 4 (CURITIBA, 2000). Portanto, o indicador IPLr dessas regiões é mais baixo e pode ser comparado a cidades em países desenvolvidos, como Bordeaux (França) e Anglian Water (Inglaterra), cujo IPLr é 103 L/ligação.dia e 105 L/ligação.dia, respectivamente (União Europeia, 2015). Outra justificativa é a existência de um controle de perdas reais mais rigoroso por meio de pesquisas de vazamento e gerenciamento de pressão nessas regiões por parte da concessionária em relação aos demais DMCs.

Por outro lado, os maiores valores de IPLr 2017, localizados nos DMCs 1, 3, 4, 5, 2, 7, 11, 12, 13, 14, 8, 9, 17, 18, 19, 15, 6, 21, 20, 27, 29, 24, 28, 10 e 25, tendem a ser regiões mais verticalizadas, com densidades de ligações entre 20 ligações/km a 60 ligações/km, sendo algumas áreas próximas entre si e do centro de Curitiba. Logo, o indicador é maior e, mesmo que a edificação possua hidrômetros individualizados, a SANEPAR contabiliza apenas uma medição realizada no hidrômetro principal. Outra explicação provável do elevado nível de vazamentos (perdas reais) é devido a infraestrutura antiga que necessita de reparo. É possível que os reparos necessários sejam mínimos ou nem realizados, devido ao tráfego intenso de veículos e prováveis transtornos que seriam causados na região.



FIGURA 37 – INDICADOR DE PERDA REAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs DO SAIC



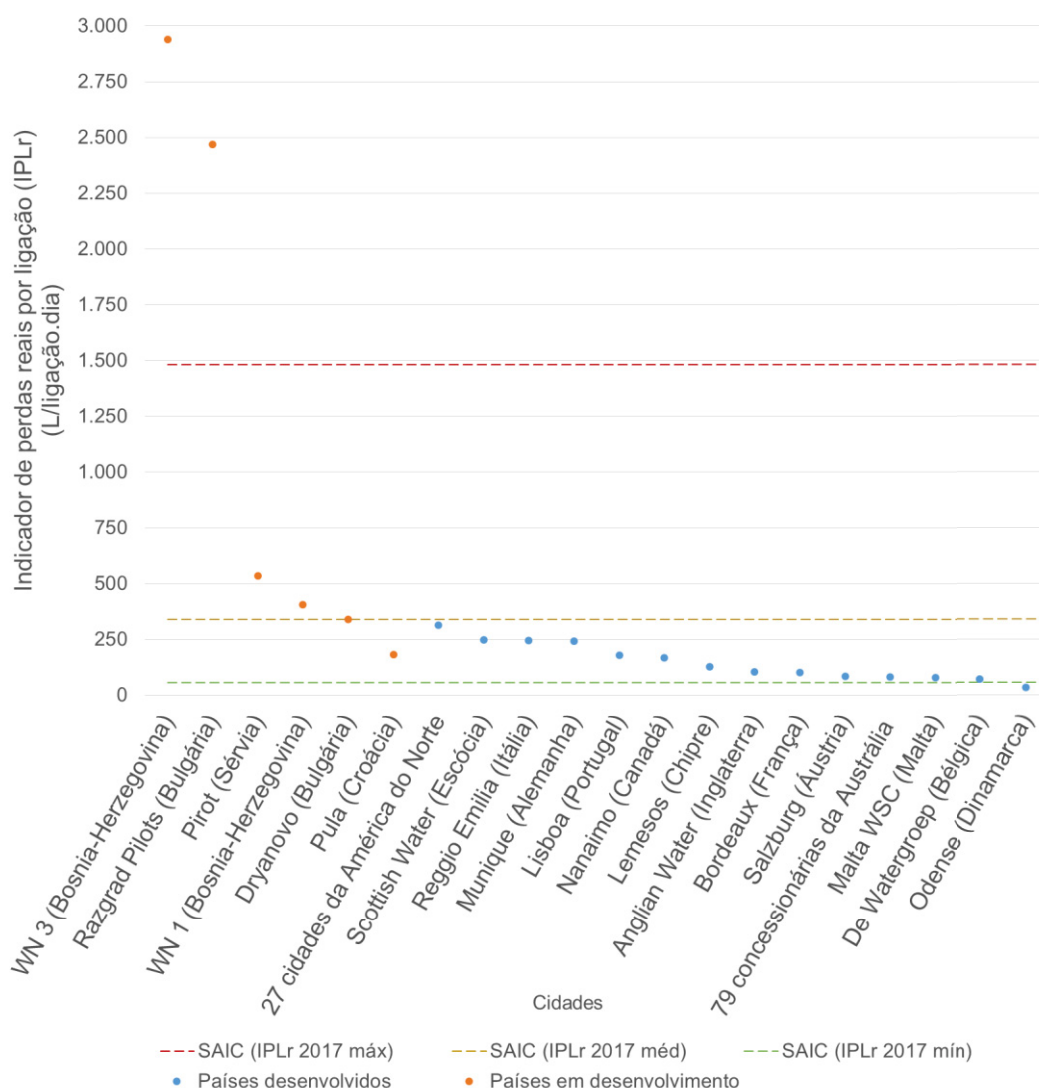
FONTE: Autora (2019)

Fazendo uma comparação dos valores de máximo, médio e mínimo do IPLr 2017 do SAIC a outros SAAs de países desenvolvidos e em desenvolvimento (FIGURA 38), observa-se a ampla faixa de abrangência do IPLr 2017. Essa ampla faixa pode ser justificada pelo SAIC englobar áreas com características heterogêneas e que resultam em diferentes valores de indicadores, conforme também apresentado na TABELA 6, onde um único DMC foi comparado à sistemas de cidades da Grécia e Canadá.

Estabelecendo uma comparação com os SAAs apresentados no QUADRO 6 (página 51) , o IPLr 2017 máx, observado no DMC 1, ficou acima de 90% dos países observados. Os únicos SAAs com IPLr superior foram observados na Bosnia-Herzegovina (2.940 L/ligação.dia) e Bulgária (2.470 L/ligação.dia), sendo que a Bosnia, como mencionado na revisão da literatura (página 51), é um país recente quando comparado ao Brasil, que tem problemas administrativos sérios e passou por diversas crises políticas e econômicas. Em termos do IPLr 2017 méd encontrado (de 341,0 L/ligação.dia), o SAIC se aproximou tanto de 27 cidades da América do Norte quanto do sistema WN 1, da Bosnia-Herzegovina, que apresentaram os valores de 315 L/ligação.dia e 405 L/ligação.dia, respectivamente. O IPLr 2017 mín observado no DMC 86 foi de 56,1 L/ligação.dia e se aproximou de diversos países desenvolvidos, principalmente de cidades como Malta WSC (Malta) e a cidade De Watergroep (Bélgica), cujos IPLr resultaram em 78 L/ligação.dia e 70 L/ligação.dia, respectivamente.

Portanto, evidencia-se que existem áreas no SAIC com baixas perdas reais, que se aproximam de países em desenvolvimento, e outras regiões com altas perdas reais, que se aproximam de perdas reais em países em desenvolvimento. Isso demonstra a complexidade do sistema e reforça a necessidade de avaliá-lo em função dos DMCs.

FIGURA 38 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO EM DIVERSOS PAÍSES



FONTE: Autora (2019)

Outro parâmetro considerado para avaliação das perdas reais no SAIC foi o índice de vazamentos da infraestrutura (IVI). Para a avaliação desse índice, foi utilizada a categorização proposta por Liemberger e Mckenzie (2005), denominado de categoria de desempenho técnico do SAA, onde os SAAs são divididos em A, B, C e D, sendo a categoria A a melhor em termos de desempenho. Os valores do IVI utilizados para a categorização foram apresentados no QUADRO 13, página 94, do capítulo material e métodos. Os resultados IVI para o ano de 2017 (IVI 2017) e da categorização encontram-se na TABELA 8.

TABELA 8 – ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA DOS DMCS SELECIONADOS DO SAIC NO ANO DE 2017

DMC	IVI 2017	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO (**)	DMC	IVI 2017	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO (**)	DMC	IVI 2017	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO (**)
-	(adim.)(*)	-	-	(adim.)(*)	-	-	(adim.)(*)	-
1	19,1	D	34	14,7	C	67	6,3	B
2	7,3	B	35	15,9	C	68	7,8	B
3	25,8	D	36	12,5	C	69	5,5	B
4	21,9	D	37	11,7	C	70	6,9	B
5	27,7	D	38	8,9	C	71	7,2	B
6	13,0	C	39	7,6	B	72	7,3	B
7	22,2	D	40	10,4	C	73	3,5	A
8	18,9	D	41	8,1	C	74	4,4	B
9	11,3	C	42	14,3	C	75	6,1	B
10	12,2	C	43	11,9	C	76	6,7	B
11	22,6	D	44	14,8	C	77	4,5	B
12	19,0	D	45	8,4	C	78	4,3	B
13	23,4	D	46	14,3	C	79	5,4	B
14	21,4	D	47	5,7	B	80	3,5	A
15	15,4	C	48	12,0	C	81	4,4	B
16	13,0	C	49	13,2	C	82	3,2	A
17	20,4	D	50	11,8	C	83	5,0	B
18	20,7	D	51	12,1	C	84	2,3	A
19	17,1	D	52	12,0	C	85	2,3	A
20	17,3	D	53	6,0	B	86	2,5	A
21	18,4	D	54	10,0	C	87	4,3	B
22	10,2	C	55	7,7	B	88	3,9	A
23	14,2	C	56	10,9	C	89	2,9	A
24	17,7	D	57	11,4	C	90	3,3	A
25	6,2	B	58	5,0	B	91	2,6	A
26	12,6	C	59	9,1	C	92	2,4	A
27	12,4	C	60	11,0	C	<b>MÁXIMO</b>	<b>27,7</b>	-
28	17,4	D	61	8,2	C	<b>MÉDIA</b>	<b>10,9</b>	-
29	14,3	C	62	8,6	C	<b>MÍNIMO</b>	<b>2,3</b>	-
30	7,9	B	63	8,8	C	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>6,0</b>	-
31	15,0	C	64	9,6	C			
32	12,9	C	65	6,6	B			
33	13,6	C	66	6,7	B			

FONTE: Autora (2019)

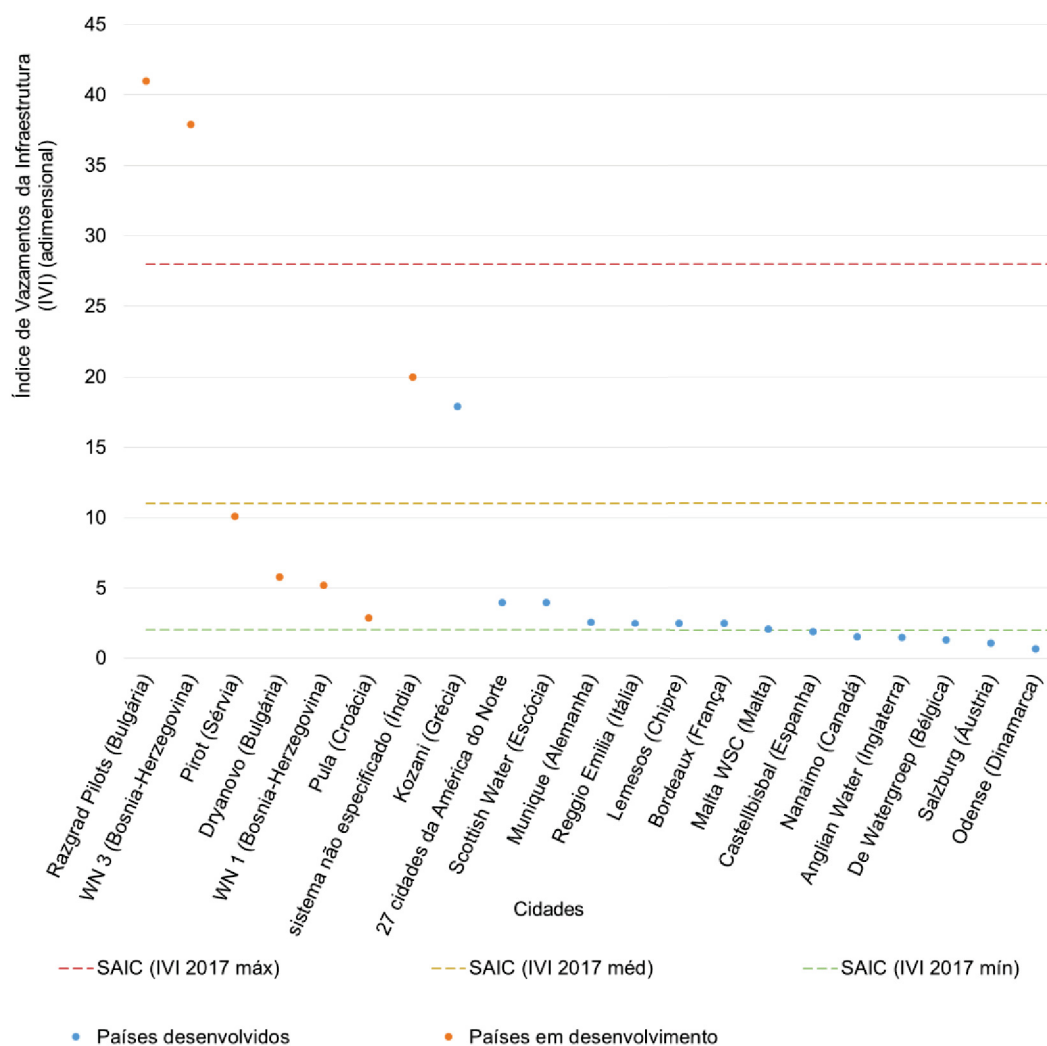
Nota: (\*) adimensional.

(\*\*) Categoria de desempenho técnico segundo Liemberger e Mckenzie (2005).

Verifica-se que os valores máximo, médio e mínimo do IVI, denominados IVI 2017 máx, IVI 2017 méd e IVI 2017 mín, respectivamente, encontrados no SAIC foram 27,7 (DMC 5), 10,9 e 2,3 (DMC 84 e 85). Comparando tais valores à outros SAAs de países desenvolvidos e em desenvolvimento (FIGURA 39), observa-se a ampla faixa

de abrangência do IVI que o SAIC resultou, porém muito inferior ao observado para os dados do IPLr 2017.

FIGURA 39 – ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA EM DIVERSOS PAÍSES



FONTE: Autora (2019)

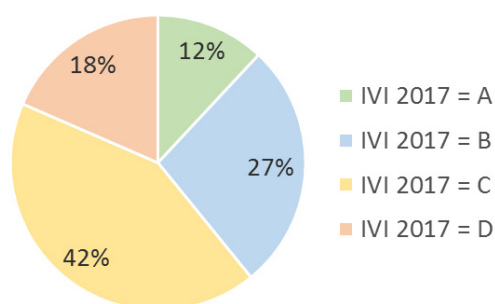
O IVI 2017 máx (DMC 5) ficou inferior apenas aos sistemas da cidade de Razgrad Pilot (Bulgária), com 41, e o sistema WN 3 (Bosnia-Herzegovina), com 38, aproximadamente. Em termos do IVI 2017 médio (IVI 2017 méd equivalente a 10,9), o SAIC se aproximou da cidade de Pirot (Sérvia), com 10,1. Assim como a Bosnia, a Sérvia também passou por intensos conflitos internos, onde forças separatistas exigem a emancipação de Kosovo e Montenegro, sendo que Montenegro já obteve sua independência em 2006 (BBC, 2018a). Já em relação ao IVI 2017 mín (equivalente a 2,3), esse se aproximou de diversos países desenvolvidos,

especialmente Malta, com 2,1, cuja independência ocorreu em 1964 e possui uma economia estável (BBC, 2018c).

Portanto, em termos de valores médios e máximos, o IVI do SAIC se compara a países com grandes fragilidades administrativas, reforçando o já foi observado pelos valores obtidos pelo IPLr 2017; porém, em termos de IVI min, o SAIC se compara a países desenvolvidos, o que confirma novamente, por meio de outro indicador, a complexidade do SAIC.

Considerando a aplicação da categorização proposta por Liemberger e Mckenzie (2005), verifica-se na FIGURA 40 que a maioria dos DMCs se classificam em C (42%), seguido de B (27%), D (18%) e A (12%). A classificação C, apesar de não ser a mais crítica, requer um aumento na frequência dos métodos de pesquisa de vazamentos para identificar a natureza dos vazamentos e repará-los. Já para categoria B recomenda-se a análise de pressão da rede, o que permite a redução dos volumes de vazamentos. A categoria D, a pior na categorização proposta por Liemberger e Mckenzie (2005), necessita implantar programas para a redução de vazamentos, com prioridade alta. Todas essas recomendações foram sugeridas por Lambert et al. (2014).

FIGURA 40 – DISTRIBUIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA DOS DMCs DO SAIC SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)

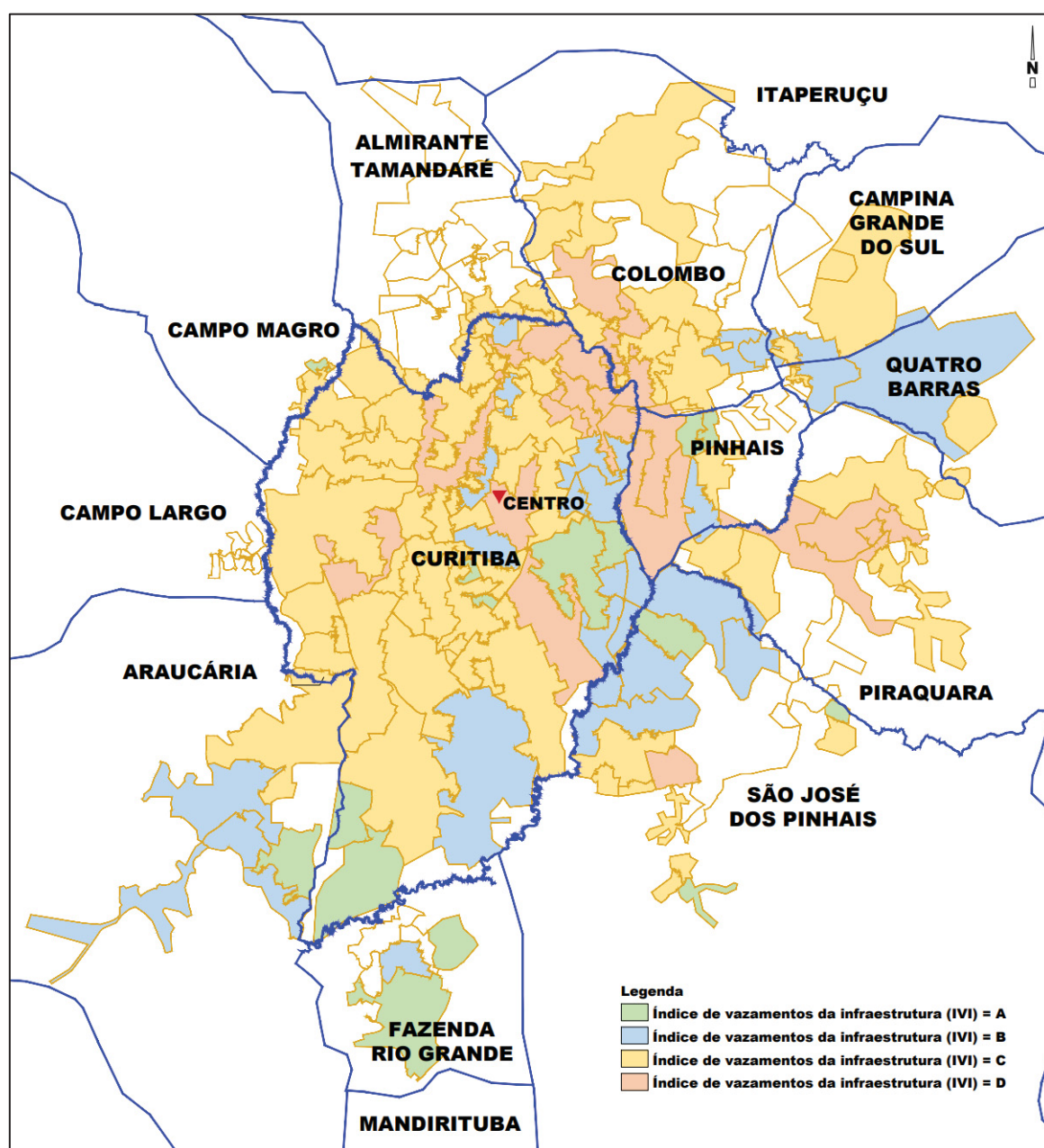


FONTE: Autora (2019)

Para visualizar espacialmente a classificação do IVI 2017 segundo Liemberger e Mckenzie (2005), foi elaborado o mapa apresentado na FIGURA 41, em que se observa que as regiões mais críticas do SAIC, ou seja, aquelas com o IVI 2017 correspondente a C e D, localizam-se majoritariamente ao longo da região oeste e também na região norte de Curitiba. Cabe salientar que essas regiões já apresentavam problemas de desabastecimento quando o plano diretor de Curitiba foi

elaborado há seis anos (SANEPAR, 2013). Por essa razão foram previstas diversas intervenções no sistema produtor e distribuidor, escalonadas de acordo com a prioridade. As intervenções na prioridade imediata foram de curto prazo (entre 2013 e 2016). Na prioridade 1 foram as intervenções que devem ser implantadas até 2016. A prioridade 2 são as intervenções que devem ser implantadas até 2020; a prioridade 3 até 2025; a prioridade 4 até 2030 e, por fim, a prioridade 4 com obras a serem implantadas até 2040.

FIGURA 41 – DMCS DO SAIC CATEGORIZADOS SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)



FONTE: Adaptado de Agostinho (2018).



A região oeste de Curitiba, onde localiza-se o sistema Passaúna, possui sistema deficitário, devido a limitação da capacidade de recalque para os reservatórios de jusante e também devido à restrição do sistema Miringuava em períodos de estiagem (localizado na região leste de Curitiba) por não possuir barragem para regularização da vazão. Por essa razão, o plano diretor previu intervenções nessas regiões (leste e oeste) de prioridade imediata, prioridade 1 e prioridade 4.

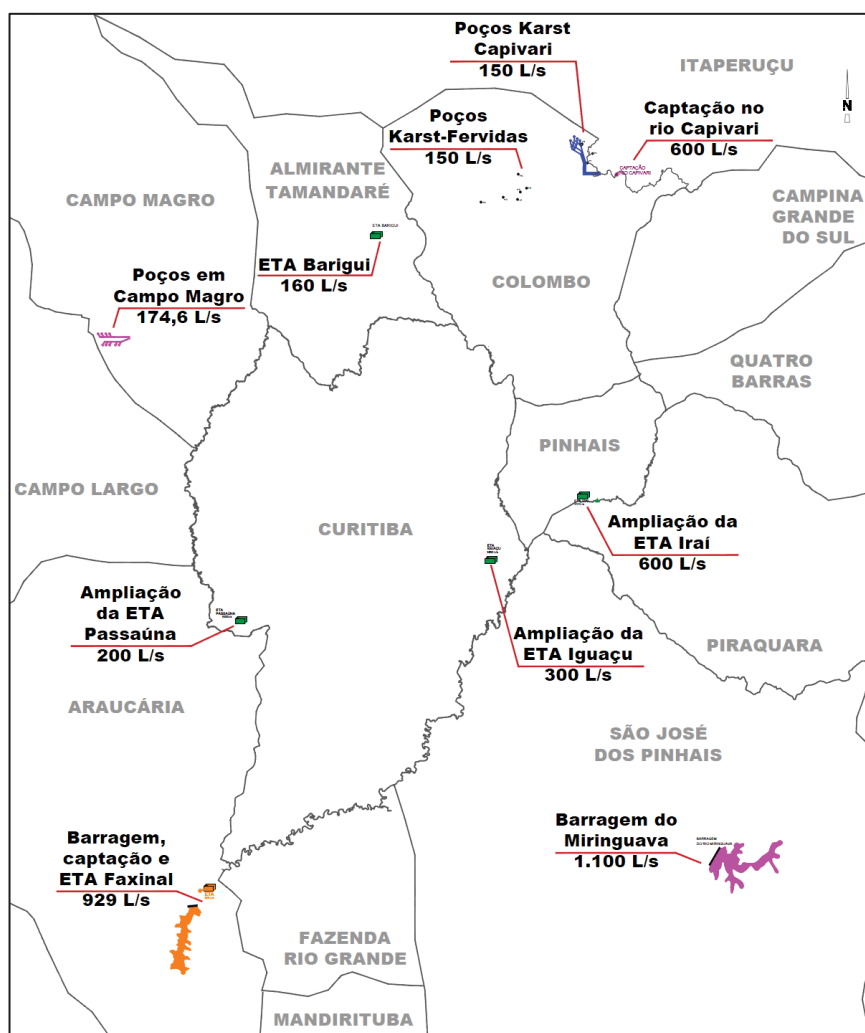
Com respeito a ampliação do sistema produtor, destaca-se que na prioridade imediata foram previstos a ampliação do sistema Iraí, Iguaçu e Passaúna em 600 L/s, 300 L/s e 200L/s, respectivamente. A ampliação do sistema Iraí e Iguaçu já foi concluída e a do sistema Passaúna está em andamento (BECHER, 2019). Já para a prioridade 1 foram previstas a implantação da barragem Miringuava (que permitirá o aumento de produção de 900 L/s para 2.000 L/s) e de poços em Campo Magro que contribuirão com uma vazão de 174,6 L/s (SANEPAR, 2013). Ambos estão em andamento (BECHER, 2019). A prioridade 4 compreende a implantação da barragem, captação e ETA Faxinal, no município de Araucária, com uma vazão prevista de 929 L/s (SANEPAR, 2013). Assim, o SAIC receberá nas regiões citadas um incremento total de 3.303,6 L/s.

Paralelamente, o abastecimento da região norte de Curitiba é feito essencialmente pelo aquífero Karst. Esse aquífero está interligado ao SAIC, porém por se situar em um terreno geologicamente frágil, há necessidade de controle do seu uso, o que leva a uma baixa produtividade do aquífero. Essa baixa produtividade do Karst não gera excedente necessário para suprir os reservatórios de Curitiba. Assim, para contornar o problema da baixa produtividade, foi previsto no plano diretor a implantação de novas captações.

Primeiramente, foi previsto o aumento na captação dos poços Karst-Fervidas, em Colombo, de 56,8 L/s com prioridade imediata. Entretanto, por nova decisão da SANEPAR, essa obra não ocorrerá, conforme comunicado por Becher (2019). Na sequência, com prioridade 1, foi proposta a implantação de uma nova ETA para abastecimento do município de Almirante Tamandaré, denominada ETA Barigui, com uma vazão de 160 L/s (SANEPAR, 2013). Segundo Becher (2019), essa obra já foi concluída. Em seguida, na prioridade 2, foi sugerida a implantação de novos poços, denominados poços Karst Capivari, que contribuirão com uma vazão de 150 L/s até 2020 (prioridade 2). Por decisão da SANEPAR, essa obra foi postergada para 2040 (BECHER, 2019). Posteriormente, até 2025, deverá ser implantado uma nova

captação no rio Capivari que irá contribuir com uma vazão de 600 L/s. Ressalta-se, entretanto, que nessa concepção a SANEPAR deverá indenizar a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) pela utilização do manancial, uma vez que a captação projetada está localizada à montante da usina Parigot de Souza. Assim, o SAIC receberá nas regiões citadas um incremento de 966,8 L/s, que somado a vazão de 3.303,6 L/s, resultará num incremento total de produção de 4.270,4 L/s. Visando ilustrar as intervenções supracitadas, foi elaborado a FIGURA 42 e para resumi-las foi elaborada a TABELA 9.

FIGURA 42 – INTERVENÇÕES NO SISTEMA PRODUTOR SEGUNDO O PLANO DIRETOR DE ÁGUA DO SAIC (SANEPAR, 2013)



FONTE: Adaptado de Agostinho (2018).

TABELA 9 – INTERVENÇÕES PREVISTAS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013)

INTERVENÇÃO	INCREMENTO NA VAZÃO DE PRODUÇÃO		PRIORIDADE	SITUAÇÃO(*)
	L/s	m³/ano		
Ampliação da ETA Iraí	600	18.921.600	imediate	concluído
Ampliação da ETA Iguaçu	300	9.460.800	imediate	concluído
Ampliação da ETA Passaúna	200	6.307.200	imediate	em andamento
Construção da Barragem do Miringuava	1.100	34.689.600	1	em andamento
Perfuração dos poços em Campo Magro	174,6	5.506.186	1	em andamento
Construção da barragem, captação e ETA Faxinal	929	29.296.944	4	permanece para implantar até 2030
Perfuração dos poços Karst-Fervidas	56,8	1.791.245	imediate	não será ampliado
Construção da ETA Barigui	160	5.045.760	1	concluído
Perfuração dos poços Karst Capivari	150	4.730.400	2	postergado para implantar até 2040 (prioridade 4)
Construção da captação superficial no rio Capivari	600	18.921.600	3	obra a implantar até 2024
<b>TOTAL</b>	<b>4.270,6</b>	<b>134.671.335</b>	-	-

FONTE: Autora (2019) com base em SANEPAR (2013).

Nota: (\*) situação em 2019 das intervenções propostas no plano diretor de água segundo Becher (2019).

Desconsiderando as obras já concluídas, os incrementos totais na vazão de produção previstos, segundo a área beneficiada pela ampliação do sistema e o grau de prioridade, foram resumidos na TABELA 10.

Diante de tais intervenções, o investimento no combate e controle de perdas reais se torna uma alternativa interessante, especialmente nas regiões norte e oeste onde já foram constados problemas de abastecimento.

Na região norte, a vazão de perdas reais equivale a 900,6 L/s, na região oeste 730,2 L/s e na região leste 946,1 L/s, totalizando em 2.576,9 L/s, conforme mencionado no início do capítulo. Assim, a vazão de perdas reais da região norte bastaria para atender a vazão de 750 L/s do prevista para os novos sistemas produtores de 2025 e 2030. Já a soma das vazões de perdas reais do oeste e leste (1.676,3 L/s) supriria com folga a vazão de ampliação prevista na prioridade imediata e 1 que estão em andamento atualmente (1.474,6 L/s). Entretanto, sabe-se que não

é possível ter um sistema com perda nula e, portanto, com base nos resultados dos níveis econômicos do item 4.2, essa discussão será retomada.

TABELA 10 – INTERVENÇÕES EM ANDAMENTO OU FUTURAS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013) E BECHER (2019)

ÁREA BENEFICIADA PELA AMPLIAÇÃO DO SISTEMA	PRIORIDADE	INCREMENTO NA VAZÃO DE PRODUÇÃO	
		L/s	m³/ano
oeste	imediate	200	6.307.200
leste e oeste	1	1.274,6	40.195.786
oeste	4	929	29.296.944
<b>SUBTOTAL</b>	-	<b>2.403,6</b>	<b>75.799.930</b>
norte	3	600	18.921.600
norte	4	150	4.730.400
<b>SUBTOTAL</b>	-	<b>750</b>	<b>23.652.000</b>
<b>TOTAL</b>	-	<b>3.153,6</b>	<b>99.451.929,6</b>

FONTE: Autora (2019) com base em SANEPAR (2013).

Além das perdas reais, as perdas aparentes também foram avaliadas segundo o indicador de perdas aparentes por ligação (IPLa 2017) para todas os DMCs selecionados do SAIC, apresentados na TABELA 11.

Observa-se que a média do IPLa 2017 foi de 96,6 L/ligação.dia (com desvio padrão de  $\pm 77,6$  L/ligação.dia). Porém, o DMC 2 apresentou um IPLa 2017 de 550,9 L/ligação.dia, maior valor observado e o menor foi verificado no DMC 92, com 7,5 L/ligação.dia.

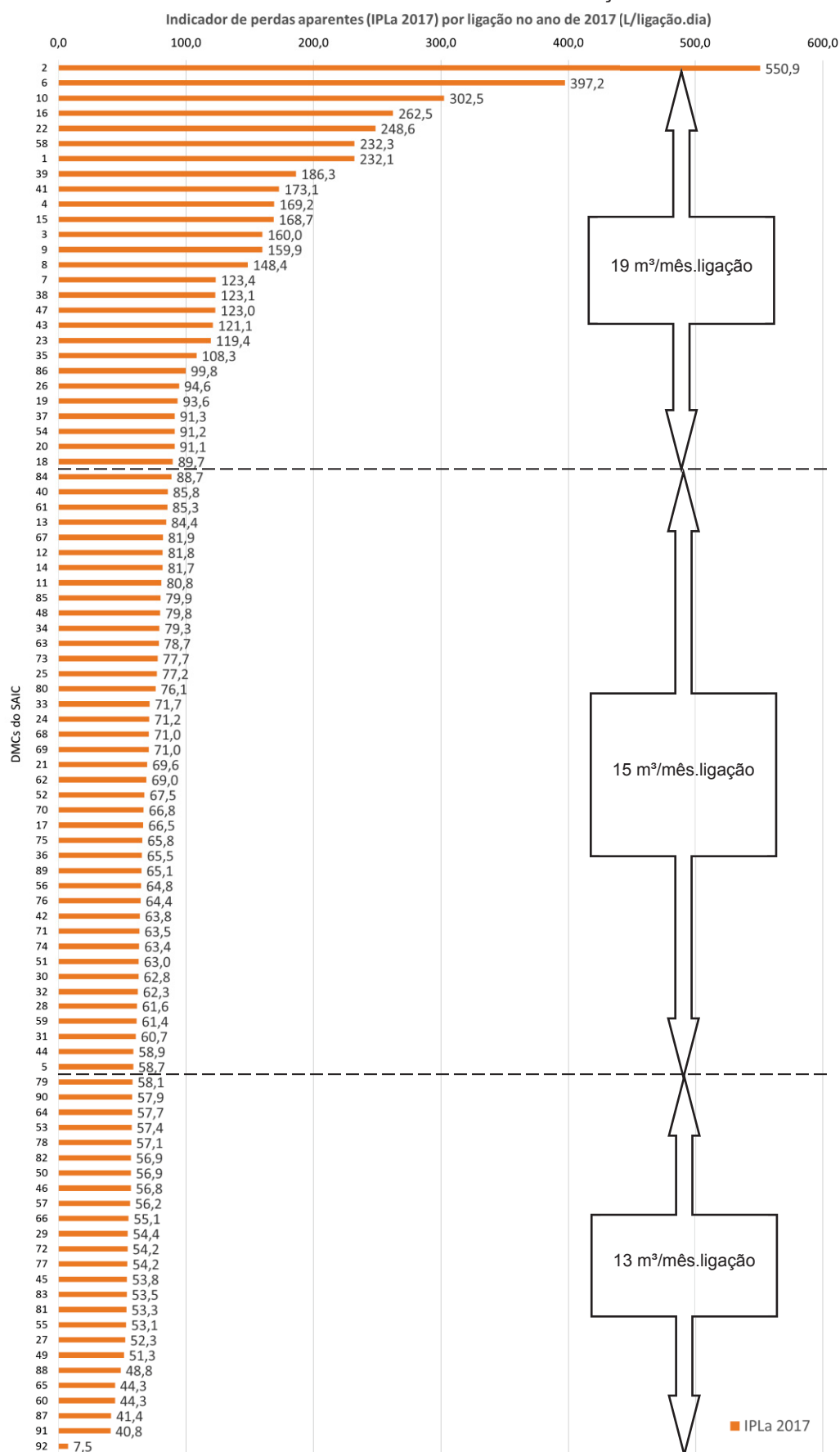
Fazendo uma comparação dos valores do IPLa 2017 aos consumos mensais por ligação (FIGURA 43), verifica-se que os maiores valores de IPLa indicados nos DMCs iniciais (parte superior da FIGURA 43), possuem uma média de consumo próxima a 19 m³/mês.ligação, o qual é superior aos DMCs finais (parte inferior da FIGURA 43), que resultou em uma média de aproximadamente 13 m³/mês.ligação, com valores de IPLa menores.

TABELA 11 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES DO SAIC PARA O ANO DE 2017

DMC	IPLa 2017	DMC	IPLa 2017	DMC	IPLa 2017
-	(L/ligação.dia)	-	(L/ligação.dia)	-	(L/ligação.dia)
1	232,1	34	79,3	67	81,9
2	550,9	35	108,3	68	71,0
3	160,0	36	65,5	69	71,0
4	169,2	37	91,3	70	66,8
5	58,7	38	123,1	71	63,5
6	397,2	39	186,3	72	54,2
7	123,4	40	85,8	73	77,7
8	148,4	41	173,1	74	63,4
9	159,9	42	63,8	75	65,8
10	302,5	43	121,1	76	64,4
11	80,8	44	58,9	77	54,2
12	81,8	45	53,8	78	57,1
13	84,4	46	56,8	79	58,1
14	81,7	47	123,0	80	76,1
15	168,7	48	79,8	81	53,3
16	262,5	49	51,3	82	56,9
17	66,5	50	56,9	83	53,5
18	89,7	51	63,0	84	88,7
19	93,6	52	67,5	85	79,9
20	91,1	53	57,4	86	99,8
21	69,6	54	91,2	87	41,4
22	248,6	55	53,1	88	48,8
23	119,4	56	64,8	89	65,1
24	71,2	57	56,2	90	57,9
25	77,2	58	232,3	91	40,8
26	94,6	59	61,4	92	7,5
27	52,3	60	44,3	<b>MÁXIMO</b>	<b>550,9</b>
28	61,6	61	85,3	<b>MÉDIA</b>	<b>96,6</b>
29	54,4	62	69,0	<b>MÍNIMO</b>	<b>7,5</b>
30	62,8	63	78,7	<b>DESVIO</b>	<b>77,6</b>
31	60,7	64	57,7	<b>PADRÃO</b>	
32	62,3	65	44,3		
33	71,7	66	55,1		

Fonte: Autora (2019).

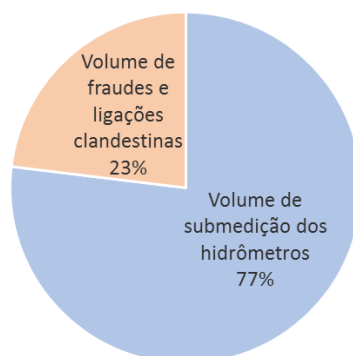
FIGURA 43 – INDICADOR DE PERDA APARENTE POR LIGAÇÃO DOS DMCs DO SAIC



FONTE: Autora (2019).

Essa relação proporcional entre quanto maior o consumo, maior o valor do indicador de perdas aparentes justifica-se pelo fato do volume de submedição de hidrômetros, que está associado ao tempo que o hidrômetro está instalado, corresponder a 77% das perdas aparentes no SAIC (FIGURA 44)

FIGURA 44 – RELAÇÃO ENTRE VOLUME DE FRAUDES E LIGAÇÕES CLANDESTINAS E VOLUME SUBMEDIÇÃO DE HIDRÔMETROS NO SAIC



FONTE: Autora (2019).

Dessa forma, é possível que os DMC iniciais estejam com o parque de hidrômetros muito antigo, devendo ser a substituição dos medidores a principal ação a ser realizada pela concessionária. A troca periódica dos hidrômetros deve ser realizada conforme a diretriz de troca especificada pela companhia, uma vez que a literatura se baseia nos próprios dados operacionais para determinar o período de troca. No caso da SANEPAR, a diretriz de troca e hidrômetro consta na TABELA 12.

TABELA 12 - DIRETRIZ DE TROCA DE HIDRÔMETRO DA SANEPAR

FAIXA DE VAZÃO MENSAL DO HIDRÔMETRO (m³/mês)	PERÍODO DE UTILIZAÇÃO DO HIDRÔMETRO (anos)
6 - 10	10
11 – 20	6
21 – 30	9
30 – 60	6
61 - 200	5
Superior a 200	4

FONTE: SANEPAR (2017b).



Portanto, o controle das perdas aparentes no SAIC está associado principalmente a troca de hidrômetros nos DMCs, sendo esta uma tarefa mais imediata e menos complexa quando comparada a ações de combate a perdas aparentes, como por exemplo a pesquisa de campo para detecção de vazamentos.

#### 4.2 AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ECONÔMICOS DE PERDAS DE ÁGUA

Os resultados obtidos no item 4.1 descreveram o desempenho operacional em 2017 do SAIC, onde a aplicação dos indicadores e índice de perdas de água permitiu identificar áreas que necessitam de maiores investimentos em ações para o combate e controle de perdas de água em relação a outras.

Porém, apenas avaliar a condição existente visando o direcionamento de recursos não é suficiente; também deve-se considerar o nível econômico como parte integrante da avaliação das perdas de água. O nível econômico consiste em determinar até que ponto os investimentos em ações devem ser feitos sem que haja prejuízo para a companhia; também está associado as particularidades locais do SAA, como por exemplo a extensão de rede, número de ligações e características do parque de hidrômetros de cada DMC.

Portanto, tendo em vista que a avaliação das condições operacionais de 2017 do SAIC resultou em um SAA com características heterogêneas dentro do próprio sistema, ou seja, entre os DMCs, também se faz necessário que a avaliação do nível econômico de perdas de água seja por DMC.

Dessa forma, foi determinado o nível econômico de vazamentos por meio do Indicador de Perdas reais por Ligação econômico (IPLr econômico) nos DMCs selecionados do SAIC, com base no modelo proposto por Wyatt (2010). Os resultados dos valores do IPLr econômico foram comparados aos resultados do IPLr 2017 obtidos na etapa 1, conforme foi apresentado na TABELA 13.

TABELA 13 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO ECONÔMICO E DE 2017 DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

DMC	IPLr econômico	IPLr 2017	DMC	IPLr econômico	IPLr 2017	DMC	IPLr econômico	IPLr 2017
-	(L/lig.dia) (*)	(L/lig.dia) (*)	-	(L/lig.dia) (*)	(L/lig.dia) (*)	-	(L/lig.dia) (*)	(L/lig.dia) (*)
1	736,1	1.480,8	34	170,7	387,0	66	143,8	213,5
2	493,7	696,0	35	184,6	354,4	67	150,1	181,1
3	336,3	1.013,7	36	225,1	396,2	68	97,9	188,7
4	301,0	905,0	37	164,1	367,7	69	115,9	186,4
5	211,9	830,3	38	233,4	331,4	70	111,7	189,3
6	219,2	482,2	39	164,5	254,0	71	111,2	188,5
7	193,1	647,3	40	174,2	353,4	72	122,9	194,9
8	250,0	579,8	41	183,0	264,5	73	120,7	160,7
9	263,9	567,8	42	201,3	369,9	74	111,8	162,9
10	211,0	423,5	43	150,6	306,3	75	69,7	157,1
11	219,6	620,6	44	134,0	356,7	76	90,9	158,1
12	205,4	613,7	45	151,3	343,3	77	117,1	166,7
13	188,4	606,7	46	132,7	333,8	78	115,3	134,1
14	190,1	580,9	47	172,7	259,8	79	88,9	130,3
15	270,8	484,0	48	186,9	299,6	80	84,6	106,1
16	169,6	375,8	49	132,3	324,7	81	104,7	128,6
17	214,5	558,8	50	146,7	315,9	82	101,6	121,7
18	219,0	524,6	51	136,4	303,3	83	92,4	124,1
19	201,5	502,8	52	235,5	297,7	84	71,0	69,8
20	230,1	458,6	53	133,5	305,6	85	83,3	77,2
21	163,8	471,3	54	140,6	271,5	86	49,8	56,1
22	165,4	271,9	55	127,5	307,5	87	94,5	114,4
23	167,6	397,9	56	132,2	280,1	88	78,2	99,6
24	163,6	425,0	57	147,9	285,9	89	78,4	80,1
25	217,7	418,2	58	97,7	103,7	90	59,5	82,1
26	155,6	395,5	59	129,3	271,6	91	64,2	65,9
27	275,5	434,3	60	134,6	272,3	92	82,9	98,5
28	193,6	424,8	61	156,0	224,9	<b>MÁXIMO</b>	<b>736,1</b>	<b>1.480,8</b>
29	208,0	427,4	62	137,3	240,8	<b>MÉDIA</b>	<b>167,7</b>	<b>341,0</b>
30	196,8	413,7	63	113,2	226,7	<b>MÍNIMO</b>	<b>49,8</b>	<b>56,1</b>
31	154,7	409,6	64	164,5	246,3	<b>DESVIO</b>	<b>89,7</b>	<b>223,5</b>
33	193,9	395,8	65	144,7	233,8	<b>PADRÃO</b>		

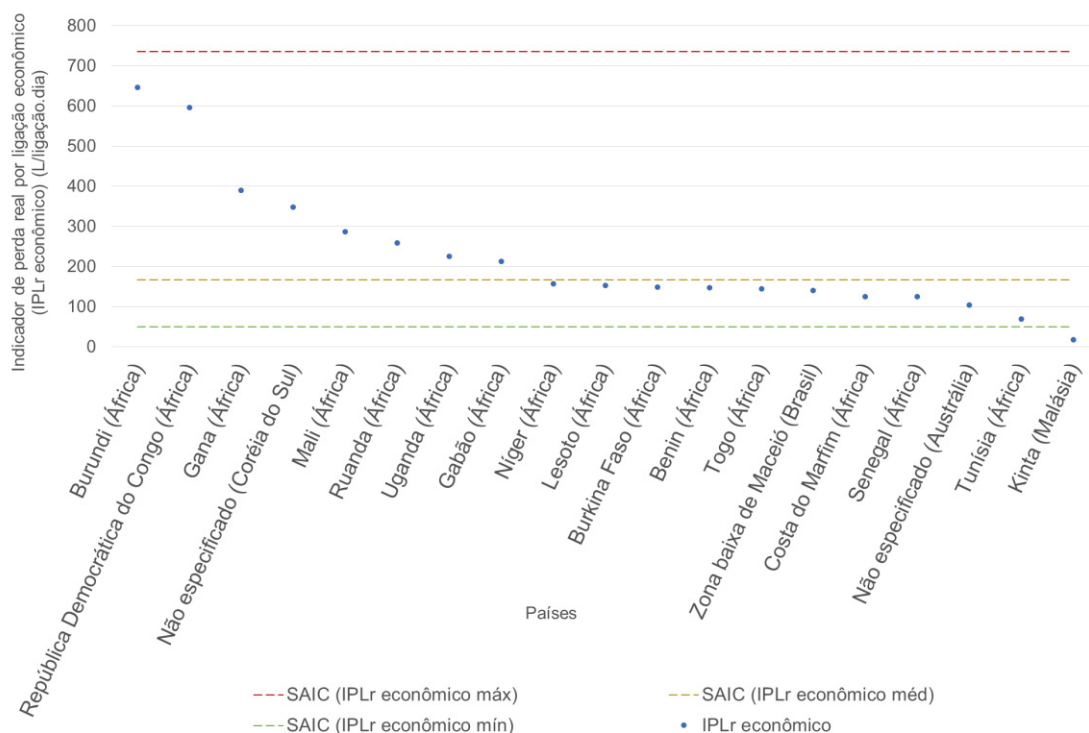
FONTE: Autora (2019)

Nota: (\*) L/ligação.dia.

Observa-se que a média do IPLr econômico foi de 167,7 L/ligação.dia (com desvio padrão de  $\pm 89,7$  L/ligação.dia), o valor máximo foi de 736,1 L/ligação.dia e o valor mínimo de 49,8 L/ligação.dia. Levando em consideração o nível econômico de perdas reais de água, poucos trabalhos foram encontrados na literatura acerca do tema, dentre eles estão as pesquisas elaboradas por: Fantozzi e Lambert (2007) na Austrália, Wyatt (2010) em diversos países africanos, Sousa (2011) na zona baixa de

Maceió (Brasil), Lim Savic e Kapelan (2015) na Coréia do Sul e Alkasseh et al. (2015) em Kinta, na Malásia. Comparando esses estudos com os resultados de IPLr obtidos para o SAIC (FIGURA 45), tem-se que o IPLr econômico máx do DMC 1, equivalente a 736,1 L/ligação.dia, ficou superior em todos os locais selecionados, inclusive maior que a localidade de Burundi, na África, com nível econômico de perdas de 645,9 L/ligação.dia. Em termos do IPLr econômico méd, o SAIC resultou em 167,7 L/ligação.dia e se aproximou da cidade de Níger (África), com 156,7 L/ligação.dia, sendo que Níger é o país com o menor Índice de Desenvolvimento Humano - IDH - do mundo (0,35) (PNUD, 2015). O mínimo valor do IPLr econômico foi de 49,8 L/ligação.dia, no DMC 86, se aproximou da Tunísia, a qual apresentou um IPLr econômico de 68,8 L/ligação.dia. Com exceção da Austrália, não há nenhum outro país desenvolvido na FIGURA 45, ou seja, a comparação dos resultados do SAIC foi essencialmente a países em desenvolvimento, localizados principalmente na África.

FIGURA 45 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO ECONÔMICO EM DIVERSOS PAÍSES



FONTE: Autora (2019).

Entretanto, observa-se que as condições a que os países africanos estão submetidos divergem muito das condições do SAIC. Comparando, por exemplo, o

IDH de países da África com o de Curitiba, das últimas dez posições do ranking global do IDH, nove pertencem a África (TABELA 14), sendo que Curitiba possui um IDH de 0,826 (ATLAS BRASIL, 2013).

TABELA 14 – ÚLTIMAS DEZ POSIÇÕES DO RANKING GLOBAL DO ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DE PAÍSES.

POSIÇÃO	PAÍS	CONTINENTE	IDH
170º	Senegal	África	0,466
171º	Afeganistão	Ásia	0,465
172º	Costa do Marfim	África	0,462
173º	Malawi	África	0,445
174º	Etiópia	África	0,442
175º	Gâmbia	África	0,441
176º	República Democrática do Congo	África	0,433
177º	Libéria	África	0,43
178º	Guiné-Bissau	África	0,42
179º	Mali	África	0,419
180º	Moçambique	África	0,416
181º	Serra Leoa	África	0,413
182º	Guiné Equatorial	África	0,411
183º	Burkina Faso	África	0,402
184º	Burundi	África	0,400
185º	Chade	África	0,392
186º	Eritreia	África	0,391
187º	República Centro Africana	África	0,35
188º	Níger	África	0,348

FONTE: Adaptado de PNDU, 2016.

Além da pobreza, a África presencia há anos tensões e conflitos violentos de ordem étnica. Burundi, por exemplo, possui um conflito étnico, entre hutus, que representam a maioria da população e tutsis que teve início em 1972, quando aproximadamente 200 mil hutus foram mortos por se oporem ao governo dos tutsis (EL PAÍS, 2014). Em 1993, os tutsis assassinaram o presidente hutu Melchior Ndadaye, o que deu início a outra guerra civil que perdurou por 12 anos e mais recentemente, em 2015, houve uma grande agitação provocada pelos tutsis devido aos planos do presidente hutu Nkurunziza de permanecer no governo pelo terceiro mandato (BBC, 2018d). Destaca-se ainda que Burundi está entre os países mais pobres da África, sendo inclusive o quinto país com menor IDH do mundo (com 0,400), cujo valor é inferior a Serra Leoa (África), com IDH equivalente a 0,411 (PNUD, 2015).

Associa-se também ao contexto de conflito, a disputa em torno da posse e controle de recursos hídricos. A região de maior concentração hídrica está localizada

no centro-oeste africano (República Democrática do Congo, República Centro Africana e Camarões), ao contrário da região norte, onde existe o deserto do Saara que se estende do litoral leste a oeste da África.

Em relação a infraestrutura de abastecimento, a África possui apenas 60% da população com acesso ao abastecimento de água (UN, 2015), sendo que apesar de existir a infraestrutura, muitas vezes devido às contaminações na rede de distribuição, a água chega imprópria para o consumo humano, como é o caso da Angola, em que apenas 17% dos angolanos, aproximadamente, recebem água potável da rede pública (INE, 2016). Além da falta de qualidade, a desigualdade na distribuição de água também acaba por desencadear diversos problemas como ataques à infraestruturas de água e saneamento, táticas de cerco que negam o acesso à água potável, bem como o deslocamento forçado para áreas sem infraestrutura de água, o que põe em risco a saúde da população (UNICEF, 2018).

Agravando mais a situação, o continente africano ainda é uma área suscetível à passagem de ciclones, como o ciclone Idai, que devastou Moçambique, Zimbábue e Malawi no dia 15 de Março de 2019 (EL PAÍS, 2019). De acordo com o Fundo Internacional de Emergência para a Infância das Nações Unidas (*United Nations International Children's Emergency Fund* - UNICEF), o ciclone já provocou pelo menos 732 mortes, além de destruir diversas estradas e pontes de acessos, inundar aldeias inteiras, destruir escolas e centros de saúde, o que acarreta na superlotação de abrigos, que por sua vez contribui para a proliferação de doenças como cólera, malária e diarreia (UNICEF, 2019).

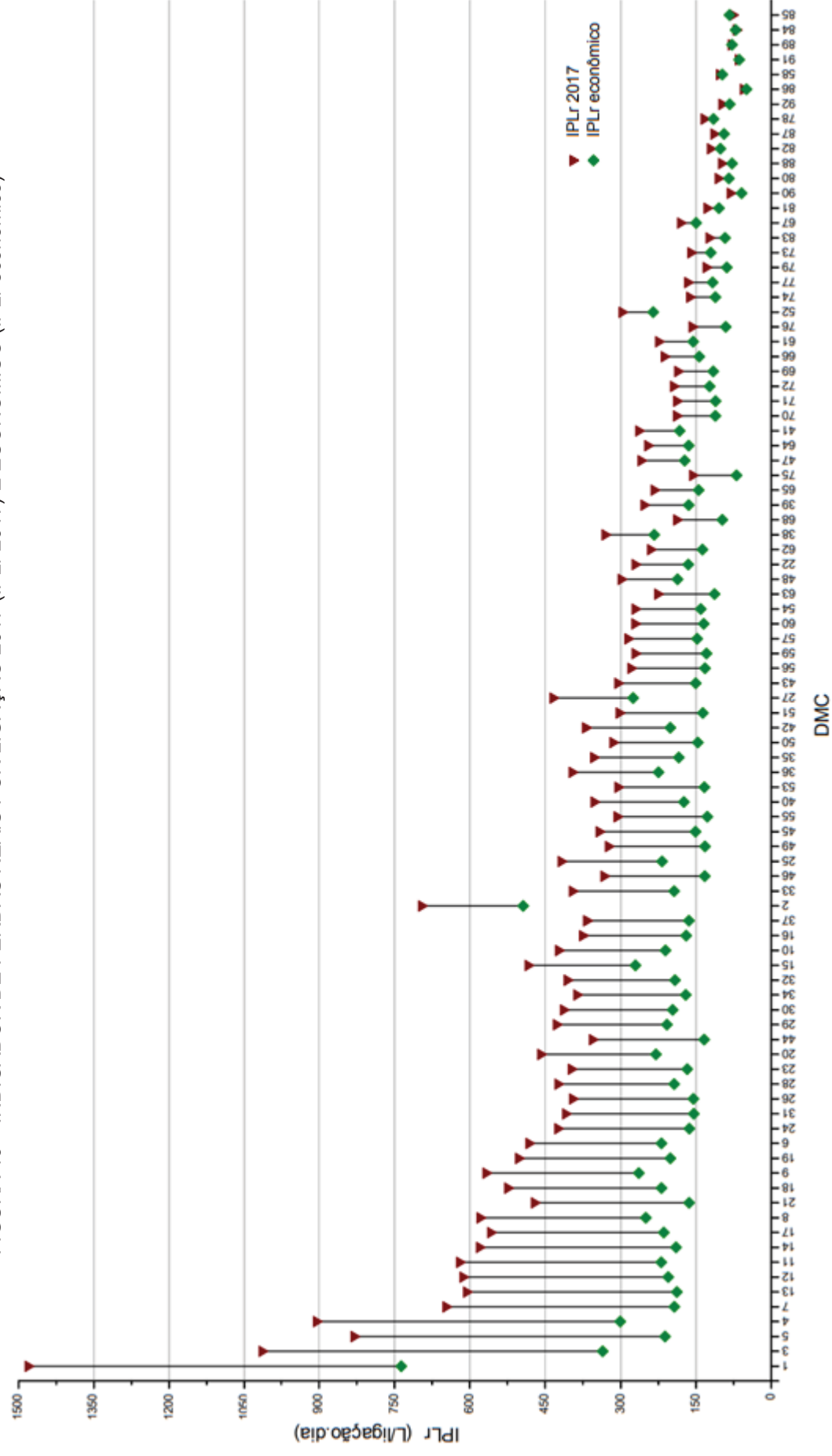
Portanto, apesar da pouca disponibilidade de dados da literatura, ao considerar apenas o indicador de perdas reais, observa-se que os valores da África e do SAIC se aproximam; porém, são sistemas inseridos em contextos totalmente diferentes.

Considerando a comparação entre os valores do IPLr econômico e o IPLr 2017 apresentados na TABELA 13, tem-se que a diferença entre ambos gera um potencial de redução de perdas reais para cada DMC e que existem diferentes magnitudes desses potenciais (FIGURA 46).

Esse potencial iniciou em 1,6 L/ligação.dia e alcançou valores máximos de 744,7 L/ligação.dia. Os menores valores de potenciais observados, encontrado nos DMCs finais, representam áreas onde o indicador de perdas reais por ligação já está muito próximo do indicador de perdas reais por ligação econômico e, portanto, não requer intervenções nos DMCs para controle de perdas reais. Destaca-se, entretanto,

que os potenciais de redução de perdas reais do DMC 84 e 85 possuem o IPLr econômico superior ao IPLr 2017. Para o DMC 84, o IPLr 2017 resultou em 69,8 L/ligação.dia e o IPLr econômico em 71,0 L/ligação.dia; já para o DMC 85, o IPLr 2017 resultou em 77,2 L/ligação.dia e o IPLr econômico resultou em 83,3 L/ligação.dia. Operar o sistema abaixo do nível econômico significaria que investimentos desnecessários em pesquisas de vazamentos estariam sendo feitos. Entretanto, como os valores de 2017 e econômicos são muito próximos, pode-se considerar que já operam no nível econômico de vazamentos.

FIGURA 46 – INDICADOR DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO 2017 (IPLr 2017) E ECONÔMICO (IPLr econômico)



DMC  
FONTE: Autora (2019)



Por outro lado, os maiores valores de magnitude observados, localizados nos DMCs 1, 3, 4 e 5, possuem ampla margem para intervenções no controle de perdas reais. Destaca-se que a soma desses quatro primeiros DMCs (1, 3, 4 e 5) geram um potencial de redução de aproximadamente 2.645 L/ligação.dia e é equivalente a 6.868.150 m<sup>3</sup>/ano, representando pouco menos de um quinto do volume total que pode ser reduzido. Assim, recomenda-se que nessas áreas os esforços para redução de perdas se concentrem em ações para o controle e redução de perdas reais, como gerenciamento de pressão, controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos e também o gerenciamento da infraestrutura.

Cabe salientar ainda que, por considerar as características de cada DMC (como por exemplo pressão, volume micromedido, número de ligações e extensão da rede de distribuição), cada DMC possui seu respectivo nível econômico. Segundo Liemberger e Mckenzie (2005), um sistema com IPLr inferior a 75 L/ligação.dia (considerando uma pressão média de 25 mca) é classificado como A, a melhor categoria. Entretanto, diversos dos níveis econômicos de perdas reais encontrados na FIGURA 46 são superiores a 75 L/ligação.dia, que sob o ponto de vista de Liemberger e Mckenzie (2005), o sistema não seria classificado como a melhor categoria, porém, sob o viés econômico, o sistema opera no equilíbrio entre custo de reduzir o vazamento e o benefício obtido pelo controle de vazamento.

Outro parâmetro calculado nos DMCs selecionados foi o valor do retorno (retorno<sub>R</sub>). O retorno<sub>R</sub> é um parâmetro adimensional e representa qual é o valor que pode ser economizado na produção de água para cada real investido em controle de perdas na DMC, ou seja, é a relação entre a economia (economia<sub>R</sub>) e o investimento (investimento<sub>R</sub>). Os resultados foram apresentados na TABELA 15 e, para melhor visualização, o valor do retorno<sub>R</sub> foi representado na FIGURA 47.

TABELA 15 – ECONOMIA<sub>R</sub>, INVESTIMENTO<sub>R</sub> E RETORNO<sub>R</sub> DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(continua)

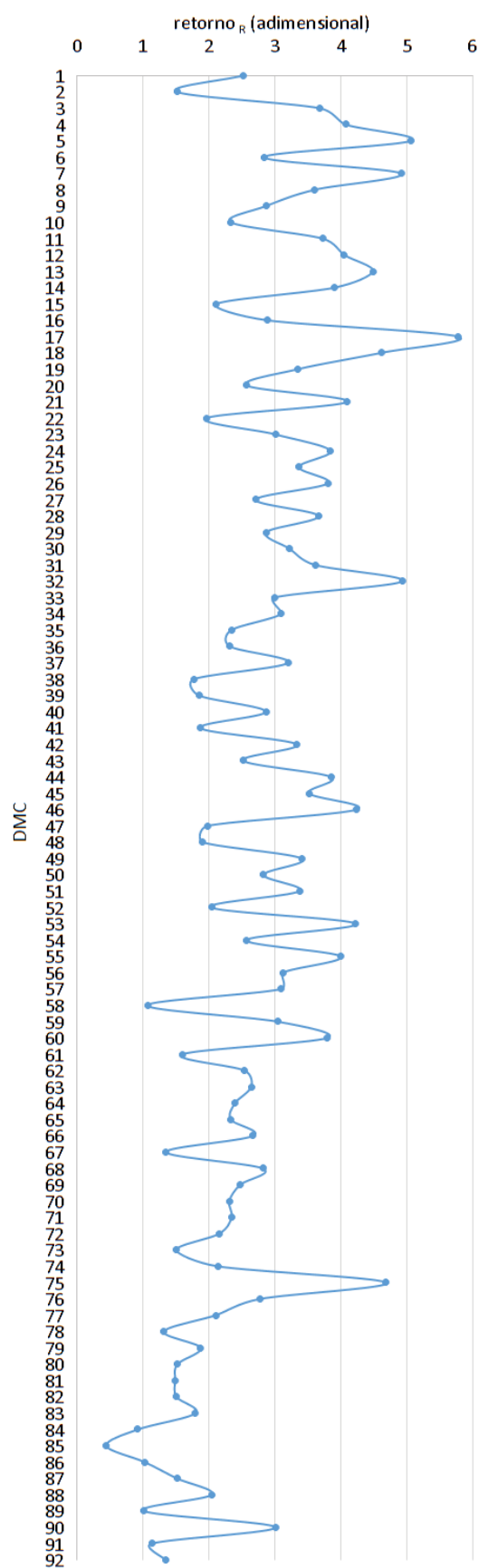
DMC	ECONOMIA <sub>R</sub>	INVESTIMENTO <sub>R</sub>	RETORNO <sub>R</sub>
-	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(adimensional)
1	318.784	126.440	2,5
2	4.202	2.776	1,5
3	1.315.699	357.498	3,7
4	981.388	240.861	4,1
5	860.467	169.713	5,1
6	130.381	45.878	2,8
7	756.402	153.852	4,9
8	179.546	49.741	3,6
9	616.939	215.077	2,9
10	118.293	50.642	2,3
11	586.845	157.303	3,7
12	255.746	63.049	4,1
13	132.606	29.515	4,5
14	576.745	147.530	3,9
15	190.747	90.177	2,1
16	357.279	123.936	2,9
17	305.357	52.845	5,8
18	310.148	67.196	4,6
19	621.152	185.281	3,4
20	215.869	83.845	2,6
21	124.596	30.406	4,1
22	91.770	46.725	2,0
23	563.382	187.133	3,0
24	384.359	99.939	3,8
25	225.450	66.961	3,4
26	61.376	16.125	3,8
27	173.249	63.877	2,7
28	177.395	48.399	3,7
29	154.315	53.783	2,9
30	482.991	149.848	3,2
31	214.784	59.472	3,6
32	506.299	102.562	4,9
33	24.832	8.281	3,0
34	436.907	140.928	3,1
35	934.451	399.429	2,3
36	140.193	60.362	2,3
37	170.883	53.351	3,2
38	211.314	119.112	1,8
39	108.781	58.866	1,8
40	169.508	59.168	2,9
41	17.811	9.520	1,9
42	141.640	42.491	3,3
43	826.439	327.854	2,5
44	202.776	52.610	3,9
45	107.103	30.451	3,5
46	97.702	23.054	4,2
47	120.516	60.928	2,0
48	569.816	298.849	1,9
49	191.108	56.024	3,4

TABELA 14 – ECONOMIA R, INVESTIMENTO R E RETORNO R DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(conclusão)			
DMC	ECONOMIA <sub>R</sub>	INVESTIMENTO <sub>R</sub>	RETORNO <sub>R</sub>
-	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(adimensional)
50	358.026	126.426	2,8
51	243.794	72.281	3,4
52	54.790	26.896	2,0
53	335.577	79.306	4,2
54	180.420	70.161	2,6
55	498.690	124.642	4,0
56	66.653	21.343	3,1
57	187.400	60.573	3,1
58	4.794	4.487	1,1
59	337.550	110.875	3,0
60	372.904	98.279	3,8
61	260.666	162.786	1,6
62	34.403	13.529	2,5
63	1.055.784	399.588	2,6
64	114.481	47.751	2,4
65	53.927	23.119	2,3
66	29.476	11.032	2,7
67	275.290	203.534	1,4
68	45.963	16.316	2,8
69	86.265	34.851	2,5
70	39.907	17.271	2,3
71	72.486	30.908	2,3
72	146.078	67.761	2,2
73	4.070	2.703	1,5
74	36.566	17.088	2,1
75	55.540	11.842	4,7
76	37.680	13.567	2,8
77	79.128	37.641	2,1
78	18.103	13.728	1,3
79	68.763	36.660	1,9
80	25.338	16.634	1,5
81	36.049	24.211	1,5
82	7.118	4.719	1,5
83	39.209	21.812	1,8
84	-922	-999	0,9
85	-42.043	-94.646	0,4
86	2.347	2.289	1,0
87	48.431	31.976	1,5
88	91.175	44.627	2,0
89	3.050	2.997	1,0
90	6.752	2.244	3,0
91	4.728	4.177	1,1
92	2.390	1.776	1,3
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.315.699</b>	<b>399.588</b>	<b>5,8</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>-42.043</b>	<b>-94.646</b>	<b>0,4</b>

FONTE: Autora (2019).

FIGURA 47 – RESULTADOS DO RETORNO<sub>R</sub> DO SAIC POR DMC



FONTE: Autora (2019)

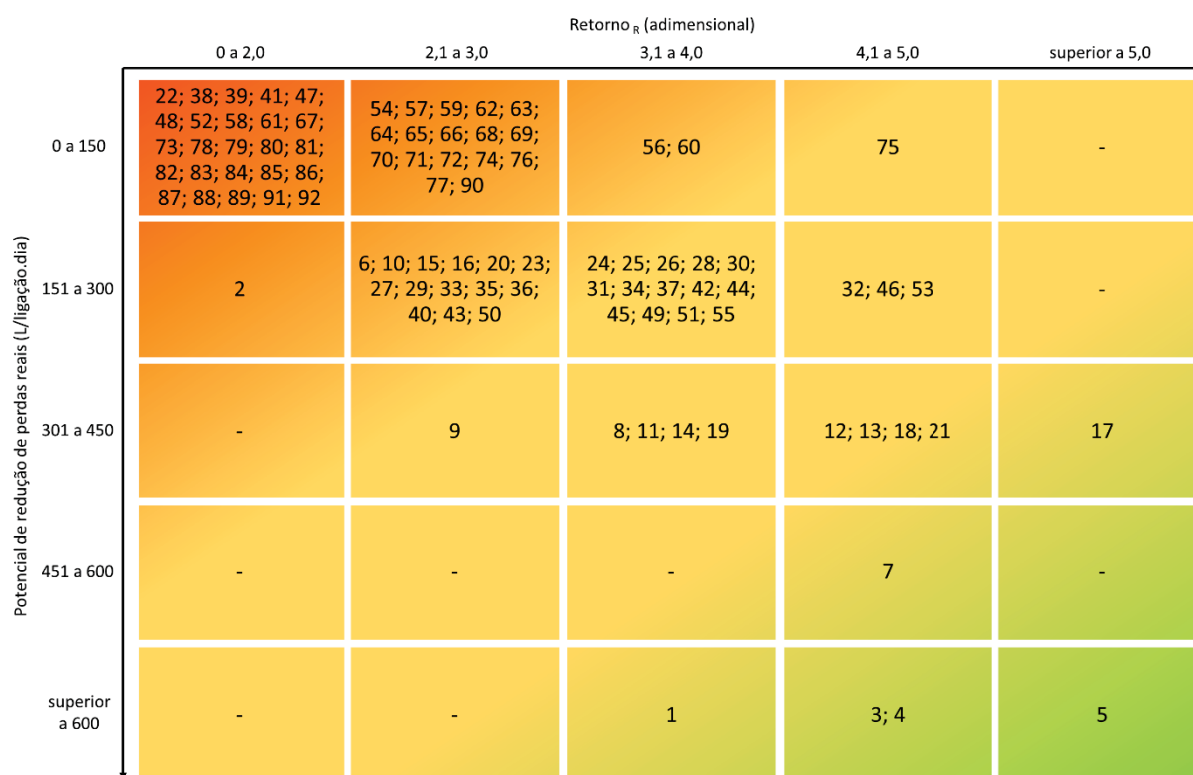
Nota-se na FIGURA 47 que o valor do retorno  $R$  variou de 0 a 6, mais especificamente de 0,4 a 5,8 nos DMCs 85 e 17, respectivamente. Observam-se dois casos em que o retorno  $R$  é inferior a 1: no DMC 84, que resultou no retorno  $R$  de 0,9 e no DMC 85, que resultou no retorno  $R$  de 0,4. Isso ocorreu em função desses dois DMCs estarem com o IPLr 2017 inferior ao IPLr econômico, mas como explicado anteriormente, pode-se adotar que ambos DMCs operam no nível econômico de vazamentos e, portanto, não necessitam de investimentos para melhoria em controle de perdas reais. Conclui-se, dessa forma que todos os DMCs terão uma economia proporcionada pelos investimentos, atingindo valores de até 6 vezes o valor do investimento, aproximadamente.

Por outro lado, retornos elevados não indicam necessariamente que são áreas com os maiores potenciais de redução de perdas. Exemplificando, o maior potencial de redução de perdas, pertencente ao DMC 1, possui um retorno de 2,5. Sob o aspecto ambiental, é o DMC 1 que deveria ser priorizado em razão da sustentabilidade hídrica, entretanto, o montante resultante da economia  $R$  do DMC 1 é inferior ao montante que poderia ser economizado por DMCs com valores de retorno  $R$  superiores a 2,5 (como por exemplo o DMC 17, com retorno equivalente a 5,8).

Assim, para conciliar o aspecto ambiental e econômico e proporcionar uma hierarquização dos DMCs para ações de controle e combate a perdas reais, foi criado um quadro que correlaciona o retorno  $R$  com o potencial de redução de perdas reais de cada DMC, conforme apresentado na FIGURA 48.

Os DMCs críticos são os DMCs com pouco potencial de redução de perdas reais e retorno  $R$  baixo, representados pela área em vermelho. Portanto, essas regiões trazem poucos benefícios sob a ótica ambiental e econômica e devem ser os últimos DMCs a receberem ações para combate a perdas reais. Por outro lado, as áreas com os maiores potenciais de redução de perdas reais e retornos  $R$  elevados são as áreas representadas pela cor verde. Nessas áreas, os aspectos ambientais e econômicos estão sendo respeitados e, portanto, devem ser a prioridade de atuação para o controle de perdas reais. As áreas indicadas pela cor amarela na FIGURA 48 são áreas que também demandam ações de controle, porém não são prioritárias.

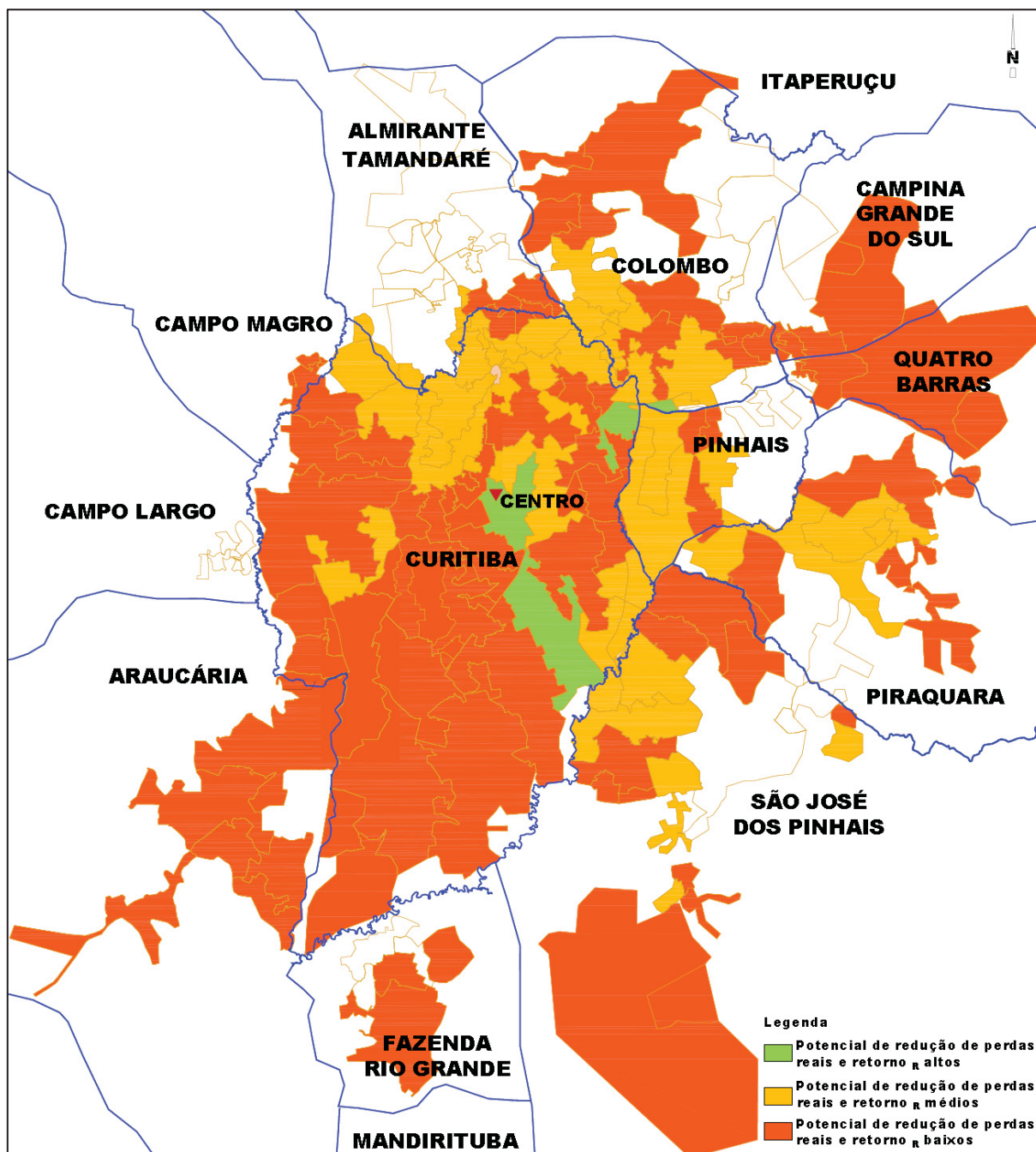
FIGURA 48 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO  $R$  E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS PARA OS DMCs DO SAIC



FONTE: Autora (2019)

Dessa forma, é possível estabelecer a hierarquização de ações para combate e controle de perdas reais: sugere-se iniciar pelas DMCs indicadas no canto inferior direito da FIGURA 48 e seguir sentido diagonal para o canto superior esquerdo. Essa hierarquização pode ser visualizada espacialmente na FIGURA 49, onde observa-se que a aplicação das ações de combate a perdas reais pode iniciar no centro de Curitiba, seguir sentido norte, leste e oeste, formando uma espiral de atuação no sentido anti-horário do centro de Curitiba para as periferias.

FIGURA 49 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO<sub>R</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS DO SAIC



FONTE: Autora (2019)

Para a avaliação dos resultados da perda real econômica também foi calculado o índice de vazamentos da infraestrutura econômico (IVI econômico) e comparados aos resultados do IVI 2017, discretizando-os por DMC, e categorizando-os conforme Liemberger e Mckenzie (2005). O resultado é apresentado na TABELA 16.



TABELA 16 - VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA ECONÔMICO DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(continua)

DMC	IVI ECONÔMICO (adimensional)	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO (*)	IVI 2017 (adimensional)	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO (*)
-	-	-	-	-
1	9,5	C	19,1	D
2	5,2	B	7,3	B
3	8,6	C	25,8	D
4	7,3	B	21,9	D
5	7,1	B	27,7	D
6	5,9	B	13,0	C
7	6,6	B	22,2	D
8	8,1	C	18,9	D
9	5,2	B	11,3	C
10	6,1	B	12,2	C
11	8,0	C	22,6	D
12	6,3	B	19,0	D
13	7,3	B	23,4	D
14	7,0	B	21,4	D
15	8,6	C	15,4	C
16	5,9	B	13,0	C
17	7,8	B	20,4	D
18	8,6	C	20,7	D
19	6,9	B	17,1	D
20	8,7	C	17,3	D
21	6,4	B	18,4	D
22	6,2	B	10,2	C
23	6,0	B	14,2	C
24	6,8	B	17,7	D
25	3,2	A	6,2	B
26	5,0	B	12,6	C
27	7,9	B	12,4	C
28	8,0	B	17,4	D
29	7,0	B	14,3	C
30	3,8	A	7,9	B
31	5,7	B	15,0	C
32	6,1	B	12,9	C
33	6,7	B	13,6	C
34	6,5	B	14,7	C
35	8,3	C	15,9	C
36	7,1	B	12,5	C
37	5,2	B	11,7	C
38	6,3	B	8,9	C
39	4,9	B	7,6	B
40	5,1	B	10,4	C
41	5,6	B	8,1	C
42	7,8	B	14,3	C
43	5,9	B	11,9	C
44	5,6	B	14,8	C
45	3,7	A	8,4	C
46	5,7	B	14,3	C
47	3,8	A	5,7	B
48	7,5	B	12,0	C

TABELA 15 - VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA ECONÔMICO DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC  
(conclusão)

DMC	IVI ECONÔMICO (adimensional)	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO	IVI 2017 (adimensional)	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO
-		-		-
49	5,4	B	13,2	C
50	5,5	B	11,8	C
51	5,4	B	12,1	C
52	9,5	C	12,0	C
53	2,6	A	6,0	B
54	5,2	B	10,0	C
55	3,2	A	7,7	B
56	5,1	B	10,9	C
57	5,9	B	11,4	C
58	4,8	B	5,0	B
59	4,3	B	9,1	C
60	5,5	B	11,0	C
61	5,7	B	8,2	C
62	4,9	B	8,6	C
63	4,4	B	8,8	C
64	6,4	B	9,6	C
65	4,1	B	6,6	B
66	4,5	B	6,7	B
67	5,3	B	6,3	B
68	4,0	B	7,8	B
69	3,4	A	5,5	B
70	4,1	B	6,9	B
71	4,2	B	7,2	B
72	4,6	B	7,3	B
73	2,6	A	3,5	A
74	3,0	A	4,4	B
75	2,7	A	6,1	B
76	3,9	A	6,7	B
77	3,2	A	4,5	B
78	3,7	A	4,3	B
79	3,7	A	5,4	B
80	2,8	A	3,5	A
81	3,6	A	4,4	B
82	2,6	A	3,2	A
83	3,7	A	5,0	B
84	2,4	A	2,3	A
85	1,9	A	2,3	A
86	2,2	A	2,5	A
87	3,6	A	4,3	B
88	3,0	A	3,9	A
89	2,8	A	2,9	A
90	2,4	A	3,3	A
91	2,5	A	2,6	A
92	2,0	A	2,4	A
<b>MÁXIMO</b>	<b>9,5</b>	-	<b>27,7</b>	-
<b>MÉDIA</b>	<b>5,3</b>	-	<b>10,9</b>	-
<b>MÍNIMO</b>	<b>1,9</b>	-	<b>2,3</b>	-
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>1,9</b>	-	<b>6,0</b>	-

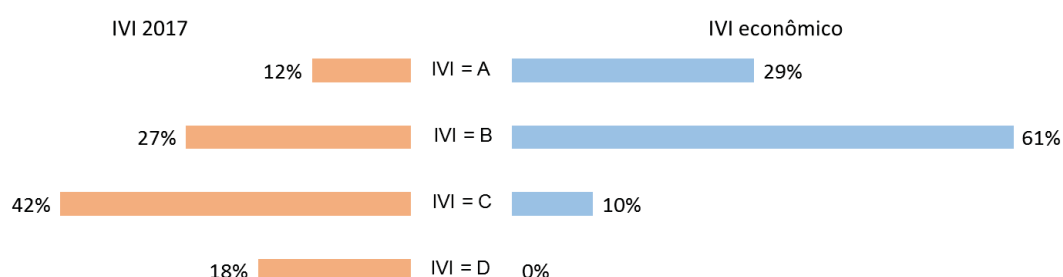
FONTE: Autora (2019).

Poucos são os trabalhos publicados que levam em consideração o Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI). No Brasil, Sousa (2011) determinou o IVI para a zona baixa de Maceió, onde os resultados indicaram um valor de IVI econômico de 2,1, que se aproximou do mínimo valor encontrado no SAIC, pertencente ao DMC 85 e equivalente a 1,9.

A comparação do IVI com outros países ficou carente em função da escassez de resultados da literatura, conforme apresentado no item 2.6. Dos trabalhos levantados na revisão bibliográfica, apenas um calculou o IVI econômico do sistema. Esse trabalho foi publicado por Sousa (2011), que determinou um IVI econômico de 2,1 para a zona baixa de Maceió, Brasil. O IVI econômico definido por Sousa (2011) se aproximou do mínimo valor encontrado no SAIC e equivalente a 1,9.

Considerando a categorização proposta por Liemberger e McKenzie (2005) apresentada na TABELA 16 e estabelecendo uma comparação entre o IVI econômico e o IVI 2017, conforme a FIGURA 50, observa-se que no cenário onde os níveis econômicos de vazamentos são alcançados nos DMCs, houve um fluxo muito maior de transição de categorias D para C e C para B em relação a B para A. Isso implica em um cenário onde o predomínio dos níveis econômicos de vazamentos resultantes sejam a categoria B e não mais C.

FIGURA 50 – CATEGORIZAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZAMENTOS DA INFRAESTRUTURA 2017 E ECONÔMICO DOS DMCs DO SAIC SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)



FONTE: Autora (2019)

Lambert et al. (2014) recomenda para a categoria B que as pressões na rede de distribuição sejam analisadas para reduzir os volumes de vazamentos. De fato, as pressões na rede se mantiveram constantes durante a modelagem dos níveis econômicos, pois foi pressuposto que a rede de distribuição esteja operando com

perdas de carga reduzidas. Essa hipótese, entretanto, deve ser validada por meio de simulações hidráulicas futuras. Assim, é possível que ainda que haja uma margem de redução dos vazamentos em função da redução da pressão de operação da rede de distribuição, permitindo que mais zonas se desloquem de B e C para A.

Por outro lado, supondo que seja possível reduzir a pressão em DMCs categorizadas em B e C, mas o resultado da classificação do IVI econômico seja mantido, isso não significa que é um DMC inferior aos demais, ou seja, o IPLr econômico é de fato superior ao previsto por Liemberger e McKenzie (2005), mas sob uma ótica econômica, os custos de reduzir o vazamento e o benefício obtido pelo controle de vazamento estão equilibrados.

No âmbito das perdas aparentes, os resultados dos valores de indicadores de perdas aparentes por ligação econômico (IPLa econômico), obtidos por meio da aplicação da diretriz de troca de hidrômetros da SANEPAR nos DMCs selecionados do SAIC, foram comparados aos resultados do IPLa 2017. O resultado dessa comparação está apresentado na TABELA 17, onde observa-se que a média do IPLa econômico foi de 87,0 L/ligação.dia (com desvio padrão de  $\pm 67,7$  L/ligação.dia), sendo o DMC 2 com o maior IPLa econômico com 505,6 L/ligação.dia e o DMC 92 com o menor de 7,5 L/ligação.dia.

TABELA 17 - INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICA E DE 2017 DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(continua)

DMC	IPLa ECONÔMICO (L/ligação.dia)	IPLa 2017 (L/ligação.dia)
-		
1	220,0	232,1
2	505,6	550,9
3	150,1	160,0
4	140,8	169,2
5	54,6	58,7
6	327,8	397,2
7	113,2	123,4
8	123,3	148,4
9	126,2	159,9
10	233,0	302,5
11	72,6	80,8
12	72,3	81,8
13	83,3	84,4
14	75,8	81,7
15	142,2	168,7
16	255,6	262,5
17	64,1	66,5
18	84,2	89,7
19	85,3	93,6
20	81,7	91,1
21	67,1	69,6

TABELA 17 - INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICA E DE 2017  
DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(continuação)

DMC	IPLa ECONÔMICO (L/ligação.dia)	IPLa 2017 (L/ligação.dia)
-		
22	236,1	248,6
23	102,3	119,4
24	67,2	71,2
25	67,0	77,2
26	77,9	94,6
27	49,7	52,3
28	59,3	61,6
29	51,7	54,4
30	55,2	62,8
31	57,4	60,7
32	59,0	62,3
33	69,2	71,7
34	74,5	79,3
35	93,9	108,3
36	62,1	65,5
37	89,1	91,3
38	114,5	123,1
39	162,5	186,3
40	82,8	85,8
41	133,0	173,1
42	61,1	63,8
43	107,4	121,1
44	56,8	58,9
45	51,4	53,8
46	54,0	56,8
47	112,8	123,0
48	74,6	79,8
49	48,5	51,3
50	53,4	56,9
51	60,4	63,0
52	61,9	67,5
53	53,3	57,4
54	68,6	91,2
55	47,4	53,1
56	56,9	64,8
57	52,9	56,2
58	182,3	232,3
59	55,2	61,4
60	42,6	44,3
61	76,4	85,3
62	66,5	69,0
63	72,0	78,7
64	53,6	57,7
65	40,2	44,3
66	50,7	55,1
67	75,8	81,9
68	65,0	71,0
69	66,1	71,0
70	62,6	66,8
71	59,6	63,5
72	51,2	54,2
73	77,7	77,7
74	60,3	63,4
75	60,9	65,8
76	59,8	64,4

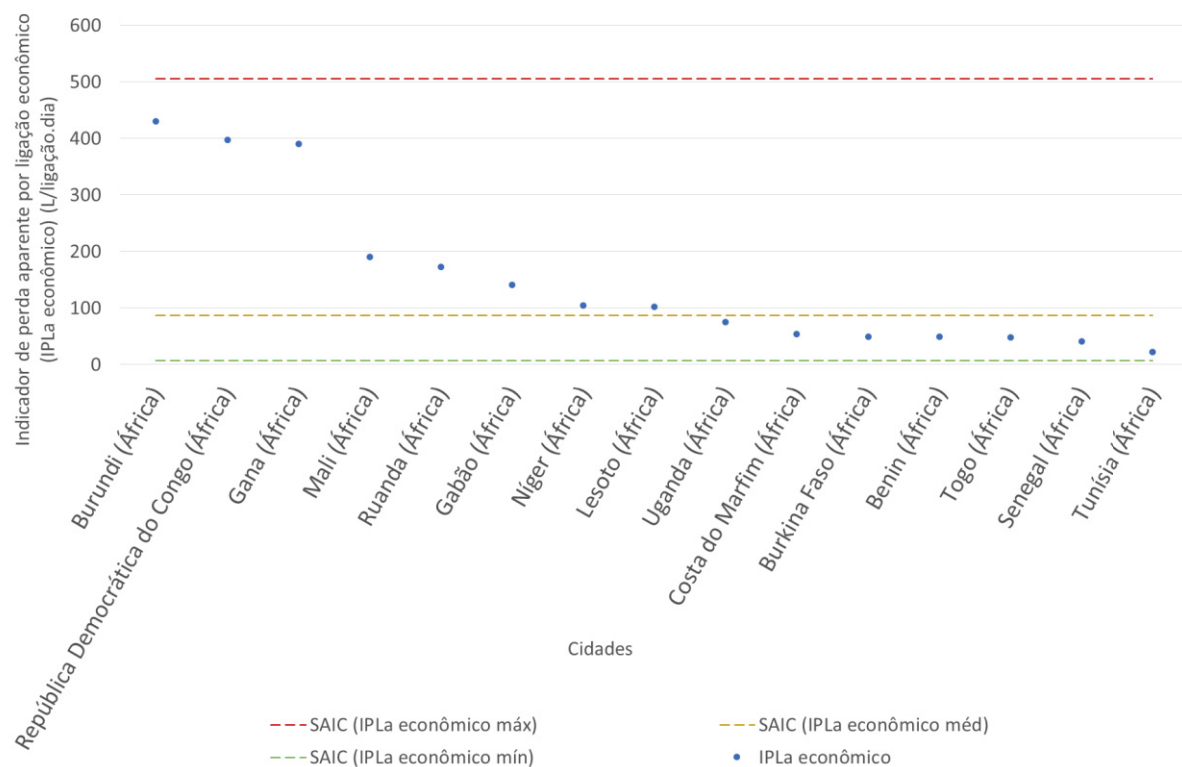
TABELA 17 - INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICA E DE 2017 DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(conclusão)		
DMC	IPLa ECONÔMICO (L/ligação.dia)	IPLa 2017 (L/ligação.dia)
-		
77	50,5	54,2
78	52,6	57,1
79	53,4	58,1
80	68,4	76,1
81	50,9	53,3
82	53,8	56,9
83	49,3	53,5
84	83,7	88,7
85	72,7	79,9
86	94,1	99,8
87	37,5	41,4
88	44,6	48,8
89	49,4	65,1
90	55,4	57,9
91	36,8	40,8
92	7,5	7,5
<b>MÁXIMO</b>	<b>505,6</b>	<b>550,9</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>87,0</b>	<b>96,6</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>7,5</b>	<b>7,5</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>67,7</b>	<b>77,6</b>

FONTE: Autora (2019).

Estabelecendo as mesmas comparações feitas na página 132 com os SAAs dos países estudados por Wyatt (2010) (FIGURA 51), observou-se que o máximo valor do IPLa econômico, encontrado no DMC 2, ficou superior a Burundi (África), com 430,6 L/ligação.dia, cujas tensões e conflitos já foram mencionados na análise do IPLr econômico. Em termos do IPLa econômico méd, o SAIC se aproximou da cidade de Lesoto (101,7 L/ligação,dia) e Uganda (75,1 L/ligação.dia), sendo que Lesoto se destaca pela existência do projeto denominado *Lesotho Highlands Water Project*, que envolve a construção de diversas barragens para geração de energia elétrica e túneis para o fornecimento de água à África do Sul (LHDA, 2005). Esse projeto foi proposto em função da disponibilidade hídrica de Lesoto, que utilizada apenas 2 m³/s dos 150 m³/s disponíveis para consumo (LHDA, 2009). Já o mínimo valor do IPLa econômico, encontrado no DMC 92, é inferior ao valor determinado para a Tunísia (a qual apresentou um IPLa econômico de 22,9 L/ligação.dia), a qual também possui instabilidades políticas e econômicas.

FIGURA 51 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO ECONÔMICO EM DIVERSAS LOCALIDADES



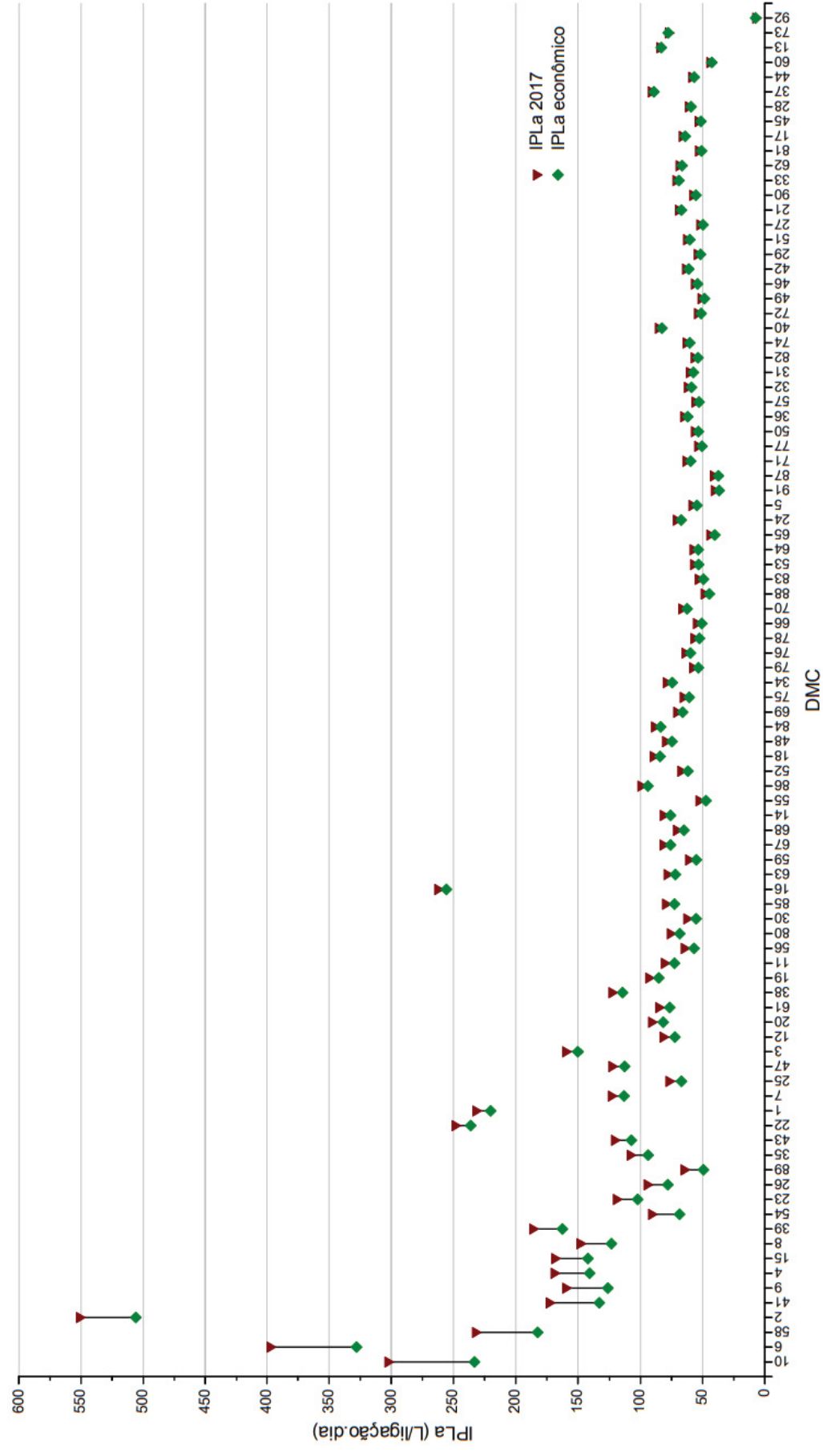
FONTE: Autora (2019)

Portanto, reforça-se a mesma condição observada para o IPLr, onde observou-se o pouco referencial na literatura para comparações, além do indicador de perdas aparentes do SAIC também se aproximar da África.

Considerando a comparação entre os valores do IPLa econômico e o IPLa 2017 apresentados na TABELA 17, também existem potencial de redução de perdas aparentes para cada DMC (FIGURA 46).



FIGURA 52 – INDICADOR DE PERDAS APARENTES POR LIGAÇÃO 2017 (IPLa 2017) E ECONÔMICO (IPLa econômico)



FONTE: Autora (2019)

Esse potencial de redução variou de 0 L/ligação.dia a 69,5 L/ligação.dia, muito inferior ao potencial de perdas reais observado na FIGURA 46, que variou de 1,6 L/ligação.dia a 744,7 L/ligação.dia. Essa diferença observada entre a variação dos potenciais de perdas aparentes e reais revela uma tendência, na qual a concessionária tem um melhor planejamento e controle referente às perdas aparentes em relação às perdas reais. De fato, em função das perdas aparentes estarem representadas pelo volume submedido neste trabalho, a redução das perdas aparentes se dá via troca periódica de hidrômetros, o que é uma tarefa muito mais simples de se realizar em relação a detecção de vazamentos na rede de distribuição.

A troca periódica pode também ser feita por outro modelo de medidor, como é o caso dos DMCs 73 e 92. Nesses DMCs, todos os medidores foram substituídos por outro modelo, o modelo ultrassônico. Esse modelo de medidor, como descrito no item 2.4.5.2, página 58, não possui submedição de vazão. Assim, como todos os hidrômetros dos DMCs 73 e 92 foram trocadas pelo medidor ultrassônico, o volume de submedição nessa área é nulo. Portanto, atenta-se que um eficiente planejamento para a atualização do parque de hidrômetros é essencial para o combate as perdas aparentes.

Outro parâmetro calculado para as perdas aparentes foi o valor do retorno econômico. No caso das perdas aparentes, o retorno denomina-se retorno  $A$  e corresponde ao benefício financeiro obtido em função recuperação do volume submedido. Os resultados estão apresentados na TABELA 18 e na FIGURA 53, onde observa-se que o valor do retorno  $A$  variou de 0 a 6,9, sendo o mínimo obtido nos DMCs 73 e 92 e máximo no DMC 10. Como citado anteriormente, todos os hidrômetros dos DMCs 73 e 92 foram substituídos pelo medidor ultrassônico, cujo volume de submedição é nulo. Portanto, nesses DMCs não existe nenhum benefício porque o faturamento já é máximo. Os demais DMCs resultaram em um retorno  $A$  superior a zero, significando que caso a troca dos hidrômetros seja realizada, a concessionária pode receber um lucro de até 7 vezes o valor do investimento, aproximadamente.

TABELA 18 – ECONOMIA A, INVESTIMENTO A E RETORNO A DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(continua)

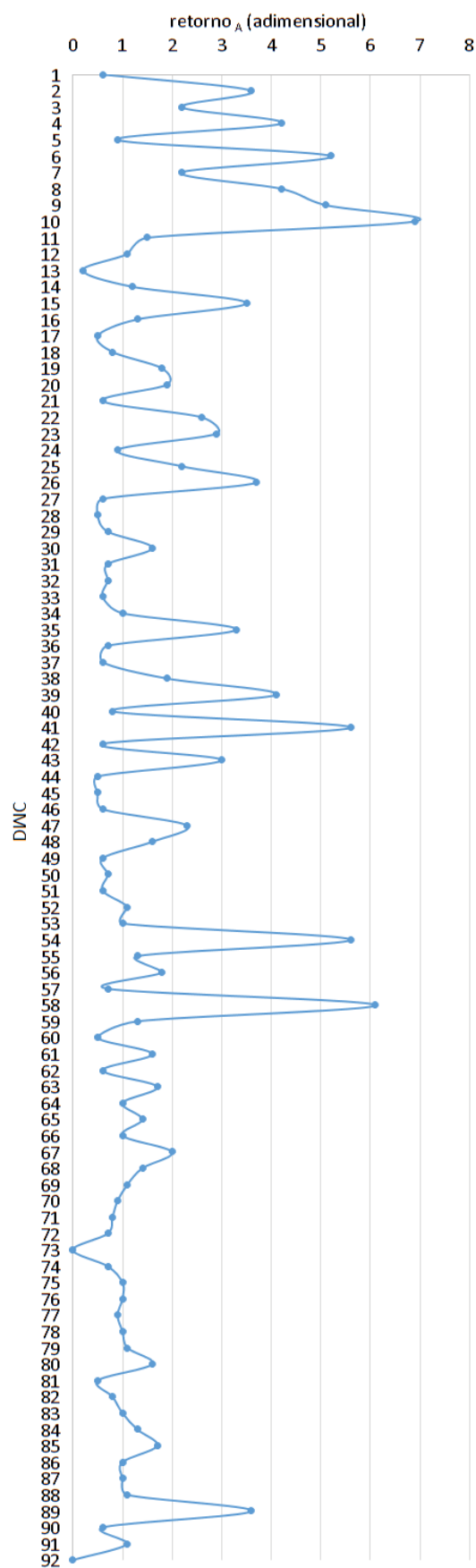
DMC	ECONOMIA A	INVESTIMENTO A	RETORNO A
-	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(adimensional)
1	44.229	78.407	0,6
2	5.752	1.589	3,6
3	177.870	80.875	2,2
4	412.920	99.414	4,2
5	53.485	62.033	0,9
6	269.737	51.509	5,2
7	153.381	68.545	2,2
8	112.487	26.750	4,2
9	585.796	115.413	5,1
10	301.057	43.730	6,9
11	108.082	71.437	1,5
12	52.667	47.149	1,1
13	3.088	13.745	0,2
14	79.032	63.801	1,2
15	218.850	62.709	3,5
16	99.622	73.900	1,3
17	18.993	36.155	0,5
18	48.416	58.118	0,8
19	151.029	85.440	1,8
20	74.076	39.903	1,9
21	8.928	15.780	0,6
22	82.311	31.469	2,6
23	355.490	121.264	2,9
24	52.669	57.089	0,9
25	96.109	44.149	2,2
26	34.343	9.184	3,7
27	23.590	39.219	0,6
28	14.650	30.250	0,5
29	16.200	24.221	0,7
30	148.666	92.735	1,6
31	24.045	34.620	0,7
32	69.175	102.759	0,7
33	2.416	3.912	0,6
34	84.207	84.925	1,0
35	687.550	210.593	3,3
36	22.740	32.413	0,7
37	15.863	24.968	0,6
38	148.591	79.678	1,9
39	223.959	54.138	4,1
40	24.325	31.459	0,8
41	59.652	10.706	5,6
42	18.647	31.583	0,6
43	624.100	210.977	3,0
44	16.141	35.316	0,5
45	11.179	20.746	0,5
46	11.065	17.399	0,6
47	110.023	47.437	2,3
48	224.878	141.489	1,6
49	24.219	39.192	0,6

TABELA 18 – ECONOMIA<sub>A</sub>, INVESTIMENTO<sub>A</sub> E RETORNO<sub>A</sub> DOS DMCs SELECIONADOS DO SAIC

(conclusão)			
DMC	ECONOMIA <sub>A</sub>	INVESTIMENTO <sub>A</sub>	RETORNO <sub>A</sub>
-	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(adimensional)
50	63.334	87.750	0,7
51	32.043	55.248	0,6
52	44.202	39.932	1,1
53	69.743	73.197	1,0
54	249.664	44.360	5,6
55	139.282	103.243	1,3
56	28.418	16.043	1,8
57	37.504	50.012	0,7
58	299.973	48.818	6,1
59	123.453	94.988	1,3
60	41.003	85.411	0,5
61	273.825	174.971	1,6
62	6.030	10.211	0,6
63	550.603	318.552	1,7
64	45.134	47.248	1,0
65	19.105	13.809	1,4
66	13.166	12.679	1,0
67	443.461	221.521	2,0
68	22.664	16.468	1,4
69	45.555	40.664	1,1
70	15.969	17.629	0,9
71	27.145	34.524	0,8
72	53.848	81.407	0,7
73	0	4.465	0,0
74	15.745	21.109	0,7
75	23.076	22.326	1,0
76	18.630	18.145	1,0
77	44.379	52.205	0,9
78	29.928	29.288	1,0
79	70.628	65.198	1,1
80	65.614	41.724	1,6
81	26.235	48.853	0,5
82	6.830	8.949	0,8
83	37.520	39.083	1,0
84	26.803	20.343	1,3
85	388.339	233.979	1,7
86	13.919	14.293	1,0
87	70.048	68.462	1,0
88	137.734	120.277	1,1
89	206.329	56.912	3,6
90	4.746	7.923	0,6
91	80.358	72.887	1,1
92	0	6.321	0,0
<b>MÁXIMO</b>	<b>687.550</b>	<b>318.552</b>	<b>6,9</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0</b>	<b>1.589</b>	<b>0,0</b>

FONTE: Autora (2019).

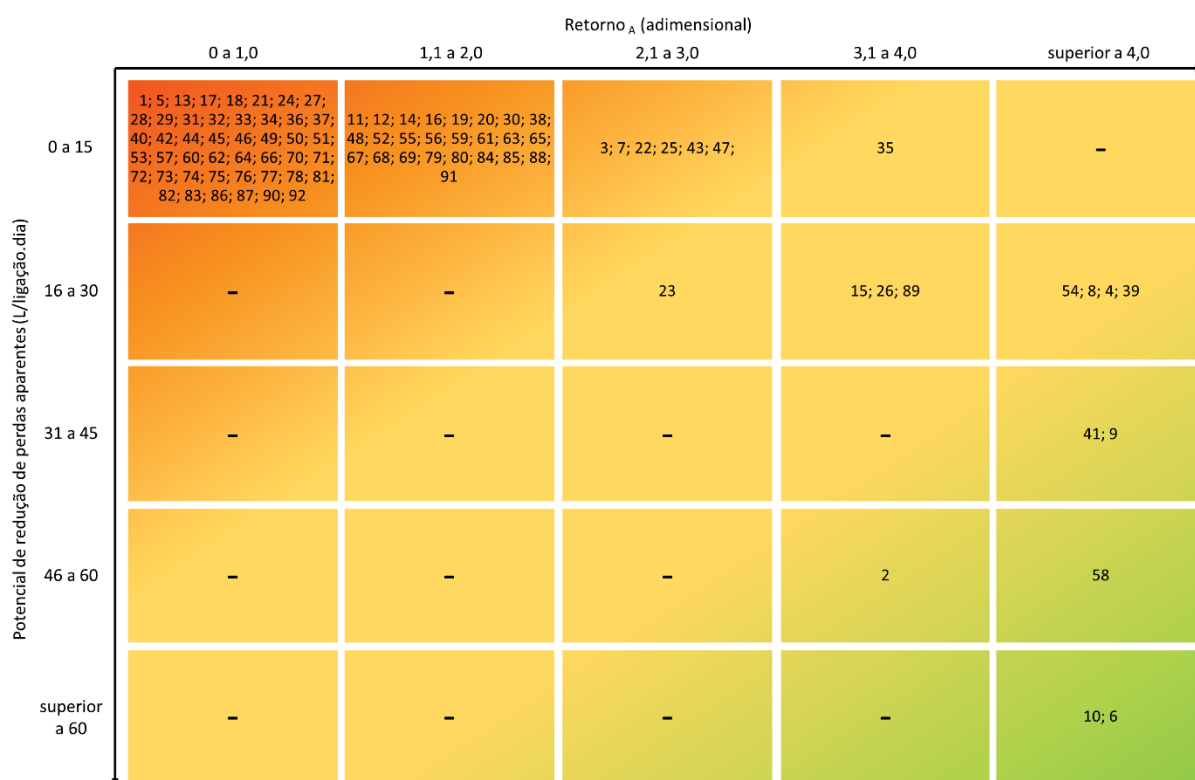
FIGURA 53 – RESULTADOS DO RETORNO<sub>A</sub> DO SAIC POR DMC



FONTE: Autora (2019)

De maneira análoga a hierarquização dos DMCs para ações de controle e combate a perdas reais, foi criado um quadro que correlaciona o retorno  $A$  com o potencial de redução de perdas aparentes de cada DMC, conforme apresentado na FIGURA 54.

FIGURA 54 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO  $A$  E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES PARA OS DMCs DO SAIC



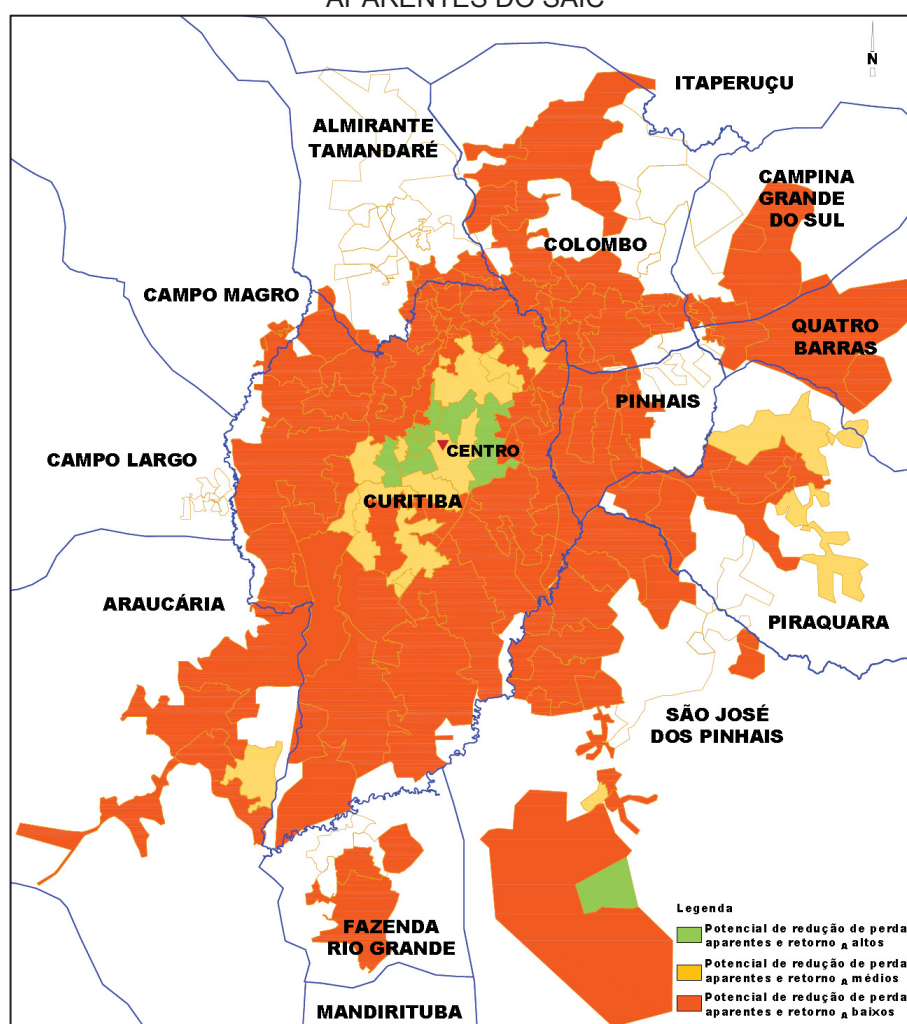
FONTE: Autora (2019)

Assim como na hierarquização proposta para as perdas reais, os DMCs críticos são os DMCs com pouco potencial de redução de perdas aparentes e retorno  $A$  baixos, representados pela área em vermelho na FIGURA 54 e devem ser os últimos DMCs a receberem ações de combate a perdas aparentes. Por outro lado, as áreas com os maiores potenciais de redução de perdas aparentes e retorno  $A$  elevados são as áreas representadas pela cor verde e devem ser a prioridade de atuação para o controle de perdas aparentes. As áreas indicadas pela cor amarela na FIGURA 54 são áreas que também demandam ações de controle, porém não são prioritárias.

Dessa forma, é possível estabelecer a hierarquização de ações para combate e controle de perdas aparentes: sugere-se iniciar pelas DMCs indicadas no canto

inferior direito da FIGURA 54 e seguir sentido diagonal para o canto superior esquerdo. Essa hierarquização pode ser visualizada espacialmente na FIGURA 55, onde observa-se que a aplicação das ações de combate a perdas aparentes poderia iniciar no centro de Curitiba e expandir radialmente para as periferias do SAIC. Cabe salientar que a parcela referente ao uso não autorizado também está incorporado nas perdas aparentes, porém não foi contemplada nesse estudo. Recomenda-se que estudos futuros integrem também essa parcela.

FIGURA 55 – CORRELAÇÃO ENTRE O RETORNO<sub>A</sub> E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES DO SAIC



FONTE: Autora (2019)

A aplicação do modelo sugerido por Wyatt (2010) e da diretriz de troca de hidrômetro da SANEPAR nos DMCs selecionados do SAIC resultou nos valores de volume autorizados totais, perdas reais totais, perdas reais e perdas aparentes para o nível econômico de perdas de água apresentadas na TABELA 19.



TABELA 19 - VOLUMES AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO, PERDA TOTAL ECONÔMICA, PERDAS REAIS ECONÔMICA E PERDAS APARENTES ECONÔMICA DO SAIC

(continua)

DMC	VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO (VATE)	PERDA TOTAL ECONÔMICA (PTE)	PERDAS REAIS ECONÔMICA (PRE)	PERDAS APARENTES ECONÔMICA (PAE)
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
1	2.068.325	754.867	581.162	173.705
2	171.254	27.357	13.515	13.841
3	5.957.619	1.886.165	1.304.190	581.976
4	6.218.473	1.383.085	942.287	440.799
5	2.920.090	759.539	603.914	155.625
6	3.434.777	458.182	183.632	274.550
7	4.238.521	984.730	620.940	363.790
8	1.335.671	359.987	241.085	118.902
9	6.044.328	1.458.590	986.822	471.767
10	2.814.364	414.576	196.985	217.591
11	3.068.383	826.381	621.134	205.247
12	1.219.557	330.869	244.739	86.130
13	638.179	159.302	110.466	48.836
14	2.693.164	767.088	548.366	218.722
15	3.207.782	733.415	480.932	252.483
16	3.371.060	1.320.121	526.657	793.464
17	1.395.347	474.976	365.712	109.264
18	1.841.511	572.258	413.352	158.906
19	3.817.124	1.123.844	789.639	334.205
20	1.428.341	532.091	392.611	139.480
21	561.711	174.038	123.468	50.570
22	1.005.876	570.990	235.191	335.799
23	5.398.024	1.212.462	752.744	459.718
24	1.992.982	645.744	457.793	187.951
25	1.592.844	576.557	440.862	135.695
26	331.426	103.565	69.004	34.561
27	1.095.766	638.047	540.481	97.566
28	915.917	358.731	274.585	84.146
29	746.083	339.174	271.631	67.544
30	2.817.501	1.063.290	830.356	232.934
31	1.143.816	332.142	242.300	89.842
32	2.919.728	1.130.067	864.757	265.310
33	109.721	54.834	40.420	14.414
34	2.816.912	924.519	643.706	280.813
35	9.145.435	2.863.850	1.898.531	965.319
36	953.660	414.840	325.184	89.656
37	728.550	398.187	258.070	140.117
38	4.340.110	1.296.407	869.727	426.680
39	2.184.328	662.253	333.162	329.091
40	870.220	444.640	301.457	143.183
41	458.948	101.502	58.768	42.733
42	895.921	391.624	300.386	91.238
43	9.564.208	2.534.359	1.479.732	1.054.627
44	1.101.623	320.804	225.316	95.488
45	553.168	203.973	152.249	51.724
46	505.071	162.876	115.737	47.139
47	2.508.630	662.621	400.841	261.780
48	5.547.246	2.422.126	1.731.220	690.906

TABELA 19 - VOLUMES AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO, PERDA TOTAL ECONÔMICA, PERDAS REAIS ECONÔMICA E PERDAS APARENTES ECONÔMICA DO SAIC

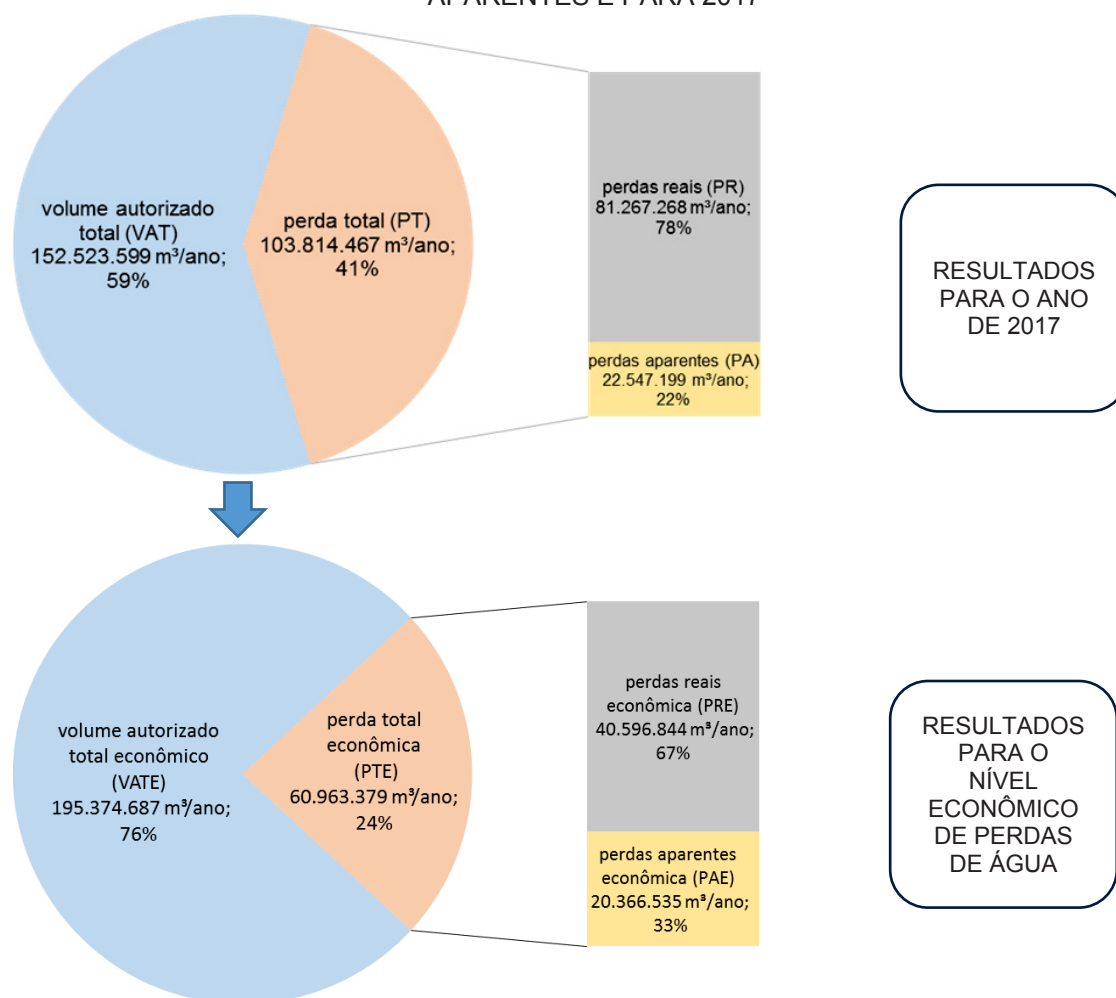
(conclusão)

DMC	VOLUME AUTORIZADO TOTAL ECONÔMICO (VATE)	PERDA TOTAL ECONÔMICA (PTE)	PERDAS REAIS ECONÔMICA (PRE)	PERDAS APARENTES ECONÔMICA (PAE)
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
49	1.069.489	329.370	241.061	88.309
50	2.479.474	780.056	572.014	208.042
51	1.679.887	520.153	360.546	159.607
52	911.287	504.707	399.700	105.007
53	2.048.700	676.164	483.305	192.859
54	1.974.517	498.457	334.955	163.502
55	2.996.533	916.612	668.241	248.371
56	393.941	146.191	102.187	44.004
57	1.338.406	485.476	357.634	127.842
58	2.801.920	361.684	126.235	235.449
59	2.900.074	791.190	554.614	236.576
60	2.359.393	892.369	677.939	214.429
61	5.794.073	1.536.364	1.031.178	505.187
62	249.343	107.747	72.580	35.168
63	9.191.854	3.247.577	1.985.385	1.262.192
64	1.172.804	515.418	388.711	126.707
65	359.157	186.431	145.871	40.560
66	299.806	126.176	93.300	32.877
67	7.385.465	3.533.156	2.347.671	1.185.485
68	450.246	131.054	78.778	52.277
69	1.278.320	365.551	232.854	132.697
70	421.852	140.328	89.940	50.388
71	950.955	260.374	169.492	90.882
72	1.920.154	671.928	474.359	197.569
73	130.618	26.153	15.909	10.244
74	516.320	190.107	123.490	66.617
75	574.691	133.366	71.158	62.208
76	422.724	131.484	79.294	52.189
77	1.049.497	437.059	305.383	131.676
78	614.090	241.307	165.680	75.627
79	1.585.757	458.893	286.714	172.180
80	1.100.100	278.505	154.030	124.475
81	1.056.936	365.569	245.917	119.652
82	172.334	74.349	48.597	25.752
83	806.795	273.610	178.391	95.219
84	788.843	179.666	82.438	97.228
85	6.495.485	1.802.600	962.427	840.172
86	508.125	75.499	26.113	49.386
87	1.267.239	510.766	365.725	145.041
88	2.265.698	866.016	551.460	314.556
89	1.287.602	361.710	222.027	139.683
90	162.166	46.153	23.909	22.243
91	1.306.029	436.819	277.694	159.125
92	146.692	17.572	16.121	1.451
<b>TOTAL</b>	<b>195.374.687</b>	<b>60.963.379</b>	<b>40.596.844</b>	<b>20.366.535</b>

FONTE: Autora (2019).

Considerando os resultados apresentados na TABELA 19, é possível observar que a perda total econômica (PTE) corresponde a 24% do volume de entrada do sistema, ou seja, nas 92 DMC analisadas, são desperdiçados 60.963.379 m³/ano, equivalente a 3.291,93 L/s de água. Deste valor, 1.287,32 L/s (ou 40.596.844 m³/ano) correspondem as perdas reais e equivale a 67% das perdas de água totais, conforme apresenta a FIGURA 56.

FIGURA 56 - BALANÇO HÍDRICO DO SAIC PARA O NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS REAIS E APARENTES E PARA 2017



FONTE: Autora (2019)

Comparando os dois gráficos apresentados na FIGURA 56, verifica-se uma considerável redução nos volumes de perdas reais e aparentes. Houve uma redução de 40.670.424 m³/ano para as perdas reais, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 50% do volume de perdas reais inicial (81.267.268 m³/ano). Já as perdas aparentes reduziram em 2.180.664 m³/ano, o que equivale a

aproximadamente 10% do volume inicial de perdas aparentes (22.547.199 m<sup>3</sup>/ano). Assim, o volume total de perdas resultou em uma redução de 42.851.088 m<sup>3</sup>/ano, o que equivale a 119.030.800 L/dia. Considerando o consumo médio per capita de Curitiba de 156,15 L/habitante.dia (BRASIL, 2018a), o volume proveniente da redução de perdas poderia abastecer uma população de até 762.285 habitantes. Segundo as projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), essa população equivale a aproximadamente 40% da população que foi estimada de Curitiba para 2018 (1.917.185 habitantes) (IBGE, 2018), dado que o último censo ocorreu em 2010.

Verifica-se, portanto, que os alcances dos níveis econômicos de perdas reais e perdas aparentes nos DMCs do SAIC podem contribuir expressivamente para a redução de perdas no sistema. Essa redução beneficia não apenas o lado operacional do sistema, mas também contribui para o preceito de sustentabilidade hídrica empregada no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997).

O investimento no combate e controle de perdas também se tornou uma alternativa interessante em relação aos cenários propostos no plano diretor de água de Curitiba, na medida em que há a redução do volume de água captada para consumo populacional e a possibilidade de postergar a exploração de mananciais futuros. Dessa forma, visando elaborar um comparativo entre os cenários propostos no plano diretor e os volumes de perdas reais econômicos que podem ser alcançados, criou-se a TABELA 20, onde é possível verificar que o volume resultante do controle de perdas na região oeste de Curitiba (de 14.077.475 m<sup>3</sup>/ano) superaria a ampliação na produção em andamento na mesma região (de 11.813.386 m<sup>3</sup>/ano), ou seja, tanto a ampliação da ETA Passaúna quanto a dos poços em Campo Magro poderiam ser postergados.

Outra análise possível é que o volume total que pode ser recuperado na região leste e oeste de Curitiba via perdas reais (26.771.845 m<sup>3</sup>/ano) se aproxima do valor projetado da barragem Faxinal, de 29.296.944 m<sup>3</sup>/ano. Assim, se a vazão de projeto da barragem for confirmada, é possível que o investimento em um novo sistema produtor seja postergado ou parcialmente executado (como por exemplo a execução de uma captação superficial em uma primeira fase e posteriormente a execução da barragem).

TABELA 20 – COMPARATIVO ENTRE AS INTERVENÇÕES E INVESTIMENTOS PARA O SAIC SEGUNDO PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013) E OS RESULTADOS OBTIDOS NESTA DISSERTAÇÃO

INTERVENÇÃO	ÁREA BENEFICIADA DO SISTEMA	PLANO DIRETOR DE ÁGUA (SANEPAR, 2013)			AUTORA (2019)		
		INCREMENTO NA VAZÃO DE PRODUÇÃO		PRIORIDADE	INVESTIMENTO EM VALOR FUTURO (2019)(*)	POTENCIAL DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS	INVESTIMENTO NO ANO DE 2019 (**)
		L/s	m³/ano		(R\$)	m³/ano	(R\$)
Ampliação da ETA Passaúna	oeste	200	6.307.200	Imediata	2.699.015,93		
Poços em Campo Magro	oeste	174,6	5.506.186	1	21.741.464,96	14.077.475	2.221.218
Barragem, captação e ETA Faxinal	oeste	929	29.296.944	4	108.826.387,69		
Barragem do Miringuava	leste	1.100	34.689.600	1	125.815.822,70	12.694.370	2.450.041
<b>SUBTOTAL</b>		<b>2.403,6</b>	<b>75.799.930</b>	-	<b>259.082.691,27</b>	<b>26.771.845</b>	<b>4.671.259</b>
Captação no rio Capivari	norte	600	18.921.600	3	54.173.312,65	13.680.589	2.487.161
Poços Karst Capivari	norte	150	4.730.400	4	67.077.889,07		
<b>SUBTOTAL</b>		<b>750</b>	<b>23.652.000</b>	-	<b>121.251.201,72</b>	<b>13.680.589</b>	<b>2.487.161</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3.153,6</b>	<b>99.451.930</b>	-	<b>380.333.892,99</b>	<b>40.452.434</b>	<b>7.158.421</b>

FONTE: Autora (2019) com base em SANEPAR (2013).

Nota: (\*) cálculo do valor futuro com base no valor do investimento previsto em 2013 (SANEPAR, 2013) e utilizando uma taxa de juros Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) de 8,06%, 6,74%, 7,21%, 6,33%, 4,02%, 3,96%, e 0,78% ao ano, referente aos anos de 2013 a 2019, respectivamente (FGV, 2019).

(\*\*) Valor do investimento referente apenas ao aumento na pesquisa de vazamentos.

De maneira semelhante, na região norte de Curitiba, o investimento em perdas se torna interessante tendo em vista que o volume recuperado de 13.680.589 m³/ano se aproxima da captação superficial no rio Capivari. Destaca-se que nesse caso ainda a SANEPAR abdicaria do pagamento da indenização à COPEL pelo uso do manancial.

Do ponto de vista econômico, verifica-se também que o investimento para controle e combate de perdas de água se torna interessante. Considerando os valores totais de investimento apresentados na TABELA 20, ainda que o valor total de investimento em controle de perdas seja multiplicado por 10 (R\$ 71.584.210) (considerando um valor hipotético para englobar a mão de obra e materiais necessários para o reparo ou substituição da tubulação), esse valor seria ainda aproximadamente 13% do investimento total previsto de R\$ 523.880.725 para a ampliação do SAA.

Adicionalmente, não obstante os valores econômicos justificariam o investimento em perdas reais, mas também deve-se atentar pela questão da sustentabilidade hídrica. Nota-se que existe um elevado volume de água está sendo desperdiçado no sistema por meio dos vazamentos e, por outro lado, tem-se ainda um cenário em que a qualidade dos rios de Curitiba e região metropolitana tem se reduzido ao longo dos anos. Segundo dados do último relatório da Fundação SOS Mata Atlântica, no município de Piraquara, considerado uma importante área de manancial de abastecimento de água do SAIC, houve perda na qualidade da água no ponto de coleta do Córrego das Pedras. Enquanto em 2017 nesse ponto a qualidade era considerada como boa; em 2018 tornou-se regular, conforme representado no QUADRO 17.

QUADRO 17 - ÍNDICE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

MUNICÍPIO	CORPO HÍDRICO	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM 2017	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM 2018
Almirante Tamandaré	Rio Barigui	Regular	Regular
Campo Largo	Rio Cambuí	Regular	Regular
Curitiba	Rio Belém	Regular	Regular
Curitiba	Rio Belém	Ruim	Regular
Curitiba	Rio Bacacheri	Regular	Regular
Curitiba	Rio Ganchinho	Regular	Regular
Curitiba	Rio Iguaçu	Regular	Regular
<b>Piraquara</b>	<b>Córrego das Pedras</b>	<b>Boa</b>	<b>Regular</b>
São José dos Pinhais	Rio Itaqui	Boa	Boa
São José dos Pinhais	Rio Itaqui	Regular	Regular

FONTE: Adaptado de Fundação SOS Mata Atlântica, 2018.

Essa degradação na qualidade dos corpos hídricos pode implicar em um aumento na quantidade de produtos químicos aplicados, além de possíveis intervenções nas ETAs para atender os requisitos de potabilidade necessários. Em um cenário a longo prazo, a redução gradativa na qualidade dos rios pode ainda atingir um ponto em que a tecnologia empregada nas ETAs não seria suficiente (ou seria muito cara) para tratar a água, o que justificaria investimento em um manancial mais distante com qualidade melhor. Logo, nesse contexto de redução da qualidade dos corpos hídricos e aumento de vazamentos, observa-se que a sustentabilidade hídrica foi prejudicada.

Dessa forma, destaca-se a importância de se avaliar as perdas reais no sistema, especialmente em projetos como o plano diretor do município que criam diretrizes para os cenários futuros de abastecimento de água da população. Recomenda-se que os cenários elaborados em planos diretores futuros também incluam propostas que avaliem a perdas, especialmente as perdas reais, a fim de garantir cenários sustentáveis para o sistema de abastecimento.

#### 4.3 PROPOSTA DE UM MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

Os dados utilizados para a aplicação do modelo simplificado integrado correspondem aos resultados obtidos nas etapas 1 e 2 deste trabalho (apresentados na TABELA 21), sendo:

- IPLr existente = IPLr 2017;
- IVI existente = IVI 2017;
- IPLr econômico = IPLr econômico;

TABELA 21 – DADOS DE ENTRADA PARA A TABELA RESUMO DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

(continua)

DMC	EXTENSÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO NÚMERO DE LIGAÇÕES DE ÁGUA (m/ligação)	IPLr 2017 (L/ligação.dia)	IVI 2017 (L/ligação.dia)	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)
-	-	-	-	-
1	99	1.480,8	19,1	D
2	107	696,0	7,3	B
3	28	1.013,7	25,8	D
4	21	905,0	21,9	D
5	11	830,3	27,7	D
6	24	482,2	13,0	C
7	10	647,3	22,2	D
8	19	579,8	18,9	D
9	25	567,8	11,3	C
10	32	423,5	12,2	C
11	16	620,6	22,6	D
12	16	613,7	19,0	D
13	13	606,7	23,4	D
14	16	580,9	21,4	D
15	23	484,0	15,4	C
16	20	375,8	13,0	C
17	16	558,8	20,4	D
18	12	524,6	20,7	D
19	21	502,8	17,1	D
20	14	458,6	17,3	D

TABELA 21 – DADOS DE ENTRADA PARA A TABELA RESUMO DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

(continuação)

DMC	EXTENSÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO NÚMERO DE LIGAÇÕES DE ÁGUA	IPLr 2017	IVI 2017	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)
-	(m/ligação)	(L/ligação.dia)	(L/ligação.dia)	-
21	12	471,3	18,4	D
22	17	271,9	10,2	C
23	18	397,9	14,2	C
24	9	425,0	17,7	D
25	18	418,2	6,2	B
26	14	395,5	12,6	C
27	33	434,3	12,4	C
28	10	424,8	17,4	D
29	22	427,4	14,3	C
30	13	413,7	7,9	B
31	16	409,6	15,0	C
32	14	405,9	12,9	C
33	20	395,8	13,6	C
34	14	387,0	14,7	C
35	14	354,4	15,9	C
36	14	396,2	12,5	C
37	14	367,7	11,7	C
38	38	331,4	8,9	C
39	22	254,0	7,6	B
40	18	353,4	10,4	C
41	28	264,5	8,1	C
42	13	369,9	14,3	C
43	15	306,3	11,9	C
44	9	356,7	14,8	C
45	12	343,3	8,4	C
46	7	333,8	14,3	C
47	19	259,8	5,7	B
48	11	299,6	12,0	C
49	10	324,7	13,2	C
50	15	315,9	11,8	C
51	11	303,3	12,1	C
52	11	297,7	12,0	C
53	12	305,6	6,0	B
54	16	271,5	10,0	C
55	19	307,5	7,7	B
56	13	280,1	10,9	C
57	11	285,9	11,4	C
58	19	103,7	5,0	B
59	11	271,6	9,1	C
60	10	272,3	11,0	C
61	16	224,9	8,2	C
62	18	240,8	8,6	C
63	11	226,7	8,8	C
64	13	246,3	9,6	C
65	22	233,8	6,6	B
66	15	213,5	6,7	B
67	12	181,1	6,3	B



TABELA 21 – DADOS DE ENTRADA PARA A TABELA RESUMO DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

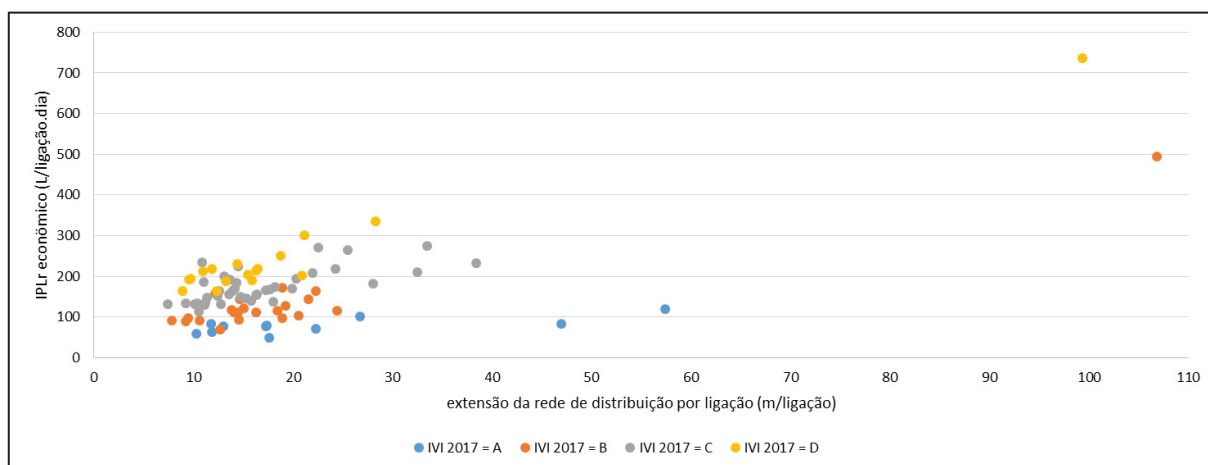
(conclusão)				
DMC	EXTENSÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO PELO NÚMERO DE LIGAÇÕES DE ÁGUA	IPLr 2017	IVI 2017	CATEGORIA DE DESEMPENHO TÉCNICO SEGUNDO LIEMBERGER E MCKENZIE (2005)
-	(m/ligação)	(L/ligação.dia)	(L/ligação.dia)	-
68	9	188,7	7,8	B
69	18	186,4	5,5	B
70	16	189,3	6,9	B
71	14	188,5	7,2	B
72	15	194,9	7,3	B
73	57	160,7	3,5	A
74	15	162,9	4,4	B
75	13	157,1	6,1	B
76	8	158,1	6,7	B
77	14	166,7	4,5	B
78	24	134,1	4,3	B
79	9	130,3	5,4	B
80	12	106,1	3,5	A
81	21	128,6	4,4	B
82	27	121,7	3,2	A
83	11	124,1	5,0	B
84	22	69,8	2,3	A
85	17	77,2	1,7	A
86	18	56,1	2,5	A
87	15	114,4	4,3	B
88	13	99,6	3,9	A
89	17	80,1	2,9	A
90	10	82,1	3,3	A
91	12	65,9	2,6	A
92	47	98,5	2,4	A

FONTE: Autora (2019)

A plotagem do IVI 2017 com as variáveis extensão de rede de distribuição (RDA) por ligação (m/ligação) e o IPLr econômico estão apresentados na FIGURA 57, onde foi observado que grande parte das DMCs se concentra entre a faixa de 10 m/ligação a 30 m/ligação.

Com base nas relações m/ligação observadas para o SAIC, foi elaborado o mapa constante no apêndice 3. Nesse mapa, é possível observar que tanto a região central de Curitiba como a região periférica resultaram numa relação de 30 m/ligação. As prováveis explicações desse fato estão associadas ao tamanho do lote mínimo e pelo tipo de rede (simples ou dupla).

FIGURA 57 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO O IVI 2017 E EXTENSÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO POR LIGAÇÃO DO SAIC



FONTE: Autora (2019).

Conforme a Lei Municipal de Curitiba nº 9.800, sancionada em janeiro de 2000, que dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba (CURITIBA, 2000), os lotes mínimos da região central se caracterizam por serem lotes com testadas variando entre 12 m a 15 m. Consequentemente, a sequência de 2 lotes na região central resulta em aproximadamente 30 m/ligação. Além disso, o centro de Curitiba também difere das demais regiões pode ser uma área altamente adensada, onde o consumo é elevado, o que implica na necessidade de ampliação da rede. Assim, toda a região central possui rede duplicada, o que também justificaria o resultado de 30 m/ligação e não 10 m/ligação.

Ao contrário da região central, as economias das regiões periféricas são geralmente residenciais, compostas por chácaras ou grandes terrenos mais distanciados entre si e com consumo inferior ao centro, não justificando a instalação da rede dupla. Logo, usualmente observa-se que a periferia usufrui da instalação de rede simples e o resultado de 30 m/ligação deve-se ao distanciamento entre as economias. Essa análise só foi possível mediante a inserção de dados no ArcGIS e elaboração do mapa constante no apêndice 2.

É possível que futuramente as áreas que atualmente apresentam 30 m/ligação migrem em direção a áreas mais adensadas, com 10 m/ligação, por exemplo, em função do crescimento das DMCs. Entretanto, DMCs periféricos do SAIC, onde atualmente existe a condição de 30 m/ligação, dificilmente será expandida em função de serem DMCs próximos a áreas de preservação ambiental permanente. Outra restrição de expansão deve-se ao Decreto Estadual nº 3.411 de 2008

(PARANÁ, 2008), que delimita na região metropolitana de Curitiba áreas de interesse de mananciais futuros para abastecimento público. Nesse decreto, os municípios de Piraquara, Pinhais, Quatro Barras, Colombo, Campo Magro, Campo Largo, Araucária e Fazenda Rio Grande possuem diversas áreas de proteção ambiental que impedem o crescimento das regiões. O mapa com a delimitação das áreas de proteção ambiental está apresentado no anexo 2.

A condição de migração de 30 m/ligação para 10 m/ligação também poderá ocorrer na região central onde o zoneamento permite a livre verticalização ou também em função da instalação de hidrômetros individualizados em todas as edificações.

Também foi observado na FIGURA 57 que para cada valor de extensão RDA por ligação existia uma faixa de valores do IPLr econômico. Assim, os resultados foram agrupados conforme apresentado na TABELA 22, onde se observa que não foram encontrados no SAIC DMCs com uma relação de 30 m/ligação com classificações A e B, assim como também não foram encontrados DMCs para a relação de 25 m/ligação com a classificação D.

TABELA 22 - IPLr ECONÔMICO SEGUNDO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO E IVI 2017

IVI 2017 (adimensional)		IPLr ECONÔMICO (L/ligação.dia) PARA UMA RELAÇÃO EXTENSÃO DA RDA POR LIGAÇÃO DE				
		10 m/ligação	15 m/ligação	20 m/ligação	25 m/ligação	30 m/ligação
A	1 – 4	60 - 85	50 - 80	70	100	-
B	4 - 8	90 - 100	95 - 145	105 - 145	115	-
C	8 - 16	115 - 135	140 - 155	170 - 210	220 - 265	185 - 210
D	> 16	190 - 210	205 - 230	250 - 300	-	335

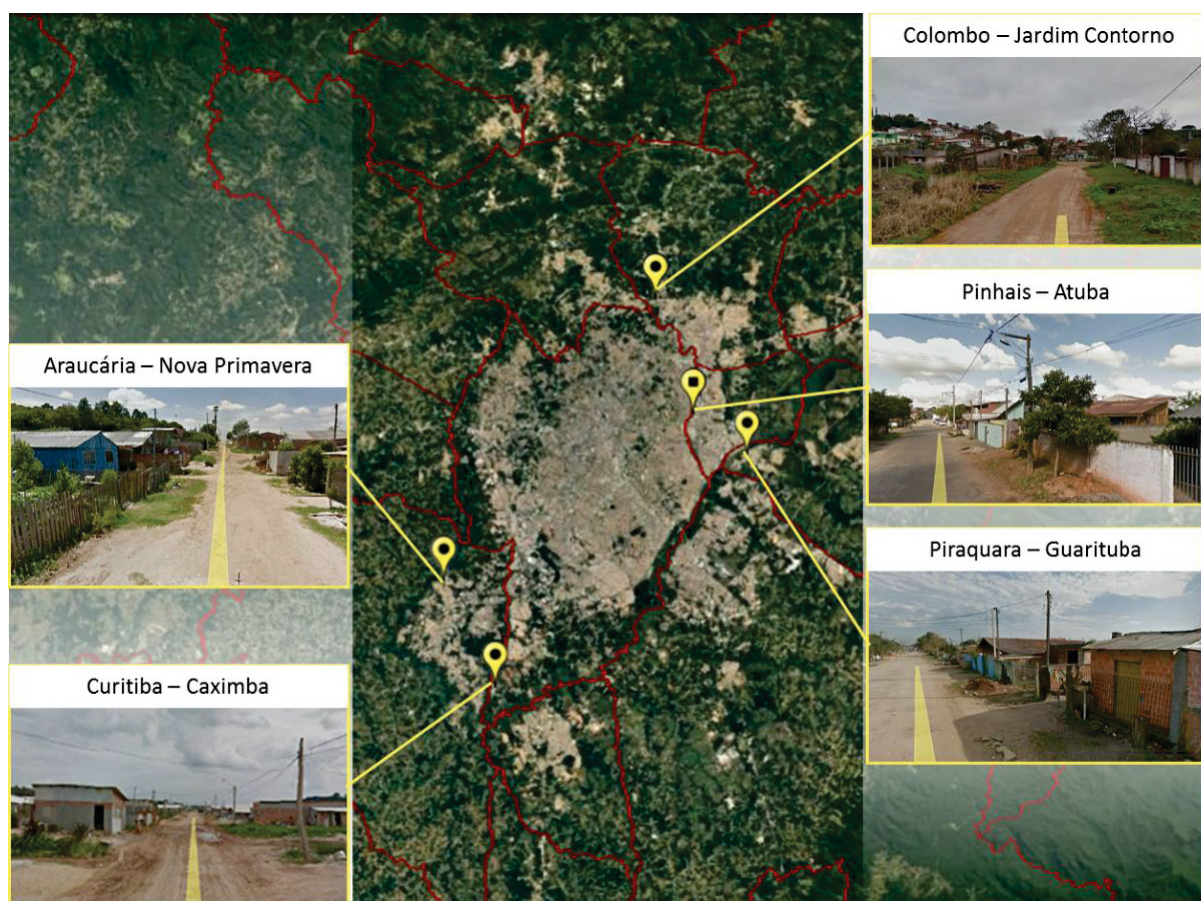
FONTE: Autora (2019)

Como mencionado anteriormente, as regiões com 30 m/ligação concentram-se no centro e na periferia de Curitiba. No item 4.1 discutiu-se que uma explicação provável do elevado nível de vazamentos na região central é devido a infraestrutura antiga que necessita de reparo, porém devido ao tráfego intenso de veículos e prováveis transtornos que seriam causados na região, é possível que os reparos executados sejam mínimos ou nem realizados. Logo, nessas condições, essa região dificilmente se enquadraria em categorias A e B.

As regiões periféricas também dificilmente se enquadrariam nas categorias A e B, pois são normalmente regiões sem uma infraestrutura adequada e que muitas

vezes sequer possui ruas pavimentadas. Dentre essas regiões destacam-se algumas como Araucária, Colombo, Pinhais e Piraquara, onde a precariedade da infraestrutura é intensificada pela existência de áreas que não são regularizadas. Algumas dessas ocupações irregulares foram destacadas na FIGURA 58.

FIGURA 58 – ÁREAS DE OCUPAÇÃO IRREGULAR EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA



FONTE: Autora (2019) com base em Prestes e Lagana (2017).

Apesar da ausência de alguns valores do IPLr econômico verificados na TABELA 22, é importante considerar que existe uma relação crescente no SAIC entre a extensão da rede de distribuição por ligação, o índice de vazamentos da infraestrutura e o IPLr econômico. Considerando que a TABELA 22 pode ser elaborada utilizando dados de qualquer sistema de abastecimento de água, em qualquer ano, sugere-se que futuramente estudos utilizem essa matriz para diferentes locais, a fim de estabelecer uma diretriz do nível econômico de perdas, podendo este ser inclusive um referencial bibliográfico a ser utilizado principalmente em SAAs de pequeno porte, onde geralmente há menor disponibilidade de dados.

Além da necessidade de saber qual é o valor do nível econômico de perdas reais do DMC, geralmente a justificativa de investimentos está relacionada ao benefício decorrente da aplicação do investimento. Nesse sentido, para determinar um modelo de previsão de redução de custos obtidos via investimento em controle e combate às perdas reais do SAIC, foi calculado a redução do custo total por ligação para todos os DMCs do SAIC, sendo que essa redução consiste na diferença entre o custo total de produção no ano de 2017 (custo total existente) e o custo total de produção para o nível econômico (custo total econômico). Também foi calculado o índice de potencial redução de vazamentos (IPV), que caracteriza qual a situação existente das perdas do DMCs em relação as perdas econômicas. Esses resultados estão apresentados na TABELA 23.

TABELA 23 – DADOS DE ENTRADA PARA A PREVISÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO PARA O SAIC DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

(continua)

DMC	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)
-		
1	89	2,0
2	19	1,4
3	90	3,0
4	86	3,0
5	88	3,9
6	37	2,2
7	68	3,4
8	49	2,3
9	39	2,2
10	26	2,1
11	55	2,8
12	59	3,0
13	64	3,2
14	54	3,0
15	21	1,8
16	27	2,2
17	54	2,6
18	47	2,4
19	41	2,5
20	28	2,0
21	46	2,9
22	12	1,6
23	31	2,4
24	37	2,6
25	29	1,9
26	37	2,5
27	20	1,6

TABELA 23 – DADOS DE ENTRADA PARA A PREVISÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO PARA O SAIC DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

(continuação)

DMC	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)
-		
28	33	2,2
29	28	2,1
30	29	2,1
31	36	2,6
32	33	2,1
33	29	2,0
34	29	2,3
35	19	1,9
36	20	1,8
37	27	2,2
38	9	1,4
39	9	1,5
40	23	2,0
41	9	1,4
42	24	1,8
43	19	2,1
44	33	2,7
45	28	2,3
46	31	2,5
47	9	1,5
48	11	1,6
49	27	2,5
50	22	2,2
51	24	2,2
52	6	1,3
53	26	2,3
54	17	1,9
55	26	2,4
56	21	2,1
57	19	1,9
58	0	1,1
59	19	2,1
60	20	2,0
61	5	1,4
62	14	1,8
63	14	2,1
64	10	1,5
65	11	1,6
66	10	1,5
67	1	1,2
68	13	1,9
69	9	1,6
70	10	1,7
71	10	1,7
72	7	1,6
73	4	1,3



TABELA 23 – DADOS DE ENTRADA PARA A PREVISÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO PARA O SAIC DO MODELO SIMPLIFICADO INTEGRADO

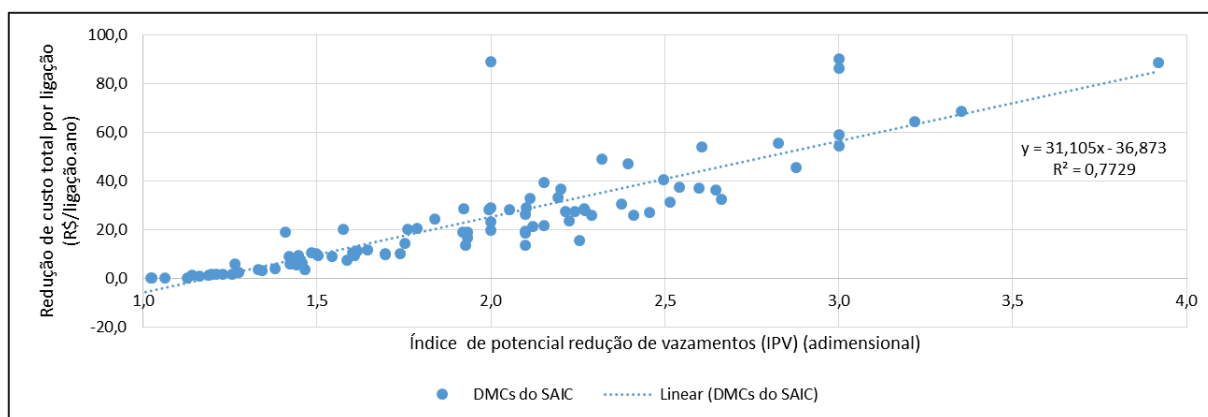
(conclusão)

DMC	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)
-	-	-
74	6	1,5
75	16	2,3
76	10	1,7
77	6	1,4
78	1	1,2
79	4	1,5
80	2	1,3
81	2	1,2
82	2	1,2
83	3	1,3
84	0	1,0
85	0	0,9
86	0	1,1
87	2	1,2
88	2	1,3
89	0	1,0
90	4	1,4
91	0	1,0
92	1	1,2

FONTE: Autora (2019).

Quando o IPV é correlacionado à redução de custo total por ligação, tem-se uma equação do primeiro grau crescente, com  $R^2$  equivalente a 0,7756 (FIGURA 59), onde também se verifica que três DMCs com IPV equivalente a 2,0 e 3,0 divergiram dos demais.

FIGURA 59 – REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS



FONTE: Autora (2019).

Esses três DMCs referem-se aos DMCs 1, 3 e 4. Para a análise dessa divergência, os respectivos os resultados do custo total por ligação foram comparados aos com os demais DMCs com IPV equivalente a 2,0 e 3,0 em conjunto com os valores de extensão da rede de distribuição. Verificou-se que a extensão de rede de distribuição de água dos DMCs 3 e 4 (de aproximadamente 301 km e 181 km, respectivamente) é superior aos DMCs 12 e 14 (50 km e 125 km), conforme TABELA 24.

TABELA 24 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0

DMC	EXTENSÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO (Lm)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV)
-	(m)	(R\$/ligação.ano)	(adimensional)
3	301.019	90	3,0
4	181.085	86	3,0
12	50.648	59	3,0
14	125.750	54	3,0

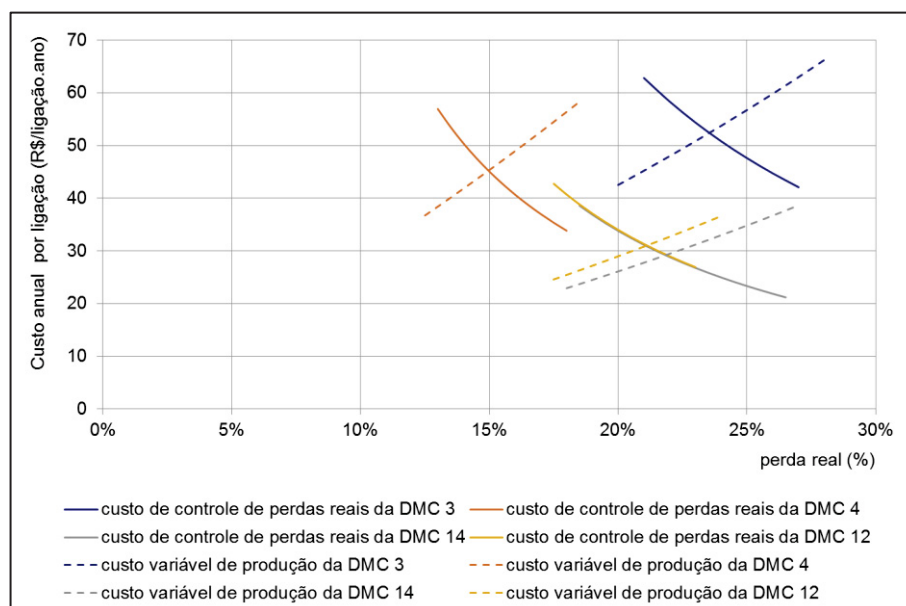
FONTE: Autora (2019).

Entretanto, quanto maior a extensão de rede, maior será o custo para o controle de perdas porque é necessária uma equipe maior e um tempo maior para percorrer toda a rede de distribuição na pesquisa de vazamentos. O volume dos vazamentos também é maior porque há uma maior probabilidade que ocorram rupturas na rede, o que de fato foi comprovado pelo número de consertos decorrente de vazamentos na RDA: enquanto os DMCs 3 e 4 realizaram 114 e 147 consertos, respectivamente; os DMCs 12 e 14 realizaram 19 e 55 consertos, respectivamente, conforme consulta no Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens (SANEPAR, 2017a).

Esse incremento no volume de vazamentos implica no aumento do custo de produção porque é necessária uma maior quantidade de produto químico e energia que foi desperdiçado nos vazamentos. Portanto, tanto o custo de controle de perdas reais quanto o custo variável de produção (que corresponde a soma dos custos de energia elétrica e produto químico) dos DMCs 3 e 4 são superiores aos custos de controle de perdas reais e variável de produção dos DMCs 12 e 14, conforme apresentado na FIGURA 60.



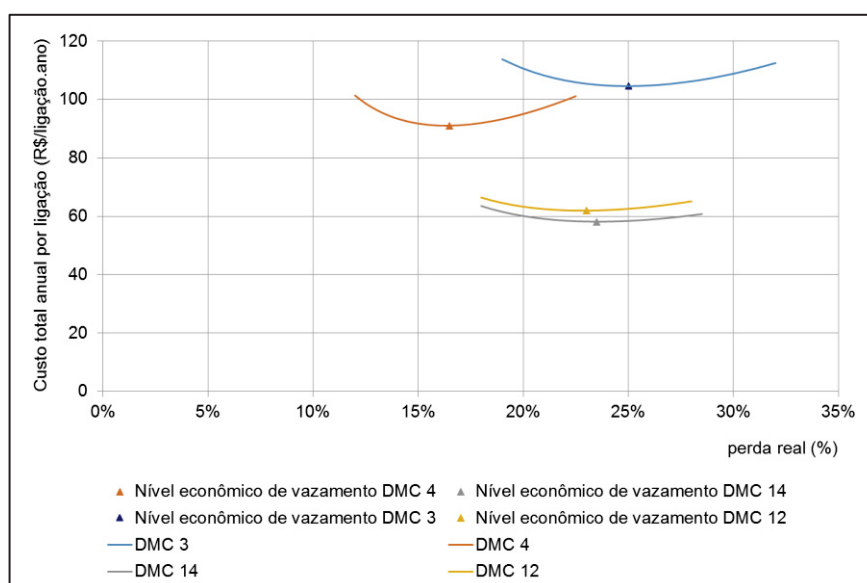
FIGURA 60 – CUSTO ANUAL DE CONTROLE DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO E CUSTO ANUAL VARIÁVEL DE PRODUÇÃO POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0



FONTE: Autora (2019).

A influência da extensão da rede de distribuição nos custos de controle de perdas reais e no custo variável de produção consequentemente se transfere para a curva de custo total por ligação, onde o custo total por ligação nos DMCs 3 e 4 é superior ao custo total por ligação dos DMCs 12 e 14, conforme representado na FIGURA 61.

FIGURA 61 – CUSTO TOTAL ANUAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 3,0



FONTE: Autora (2019).

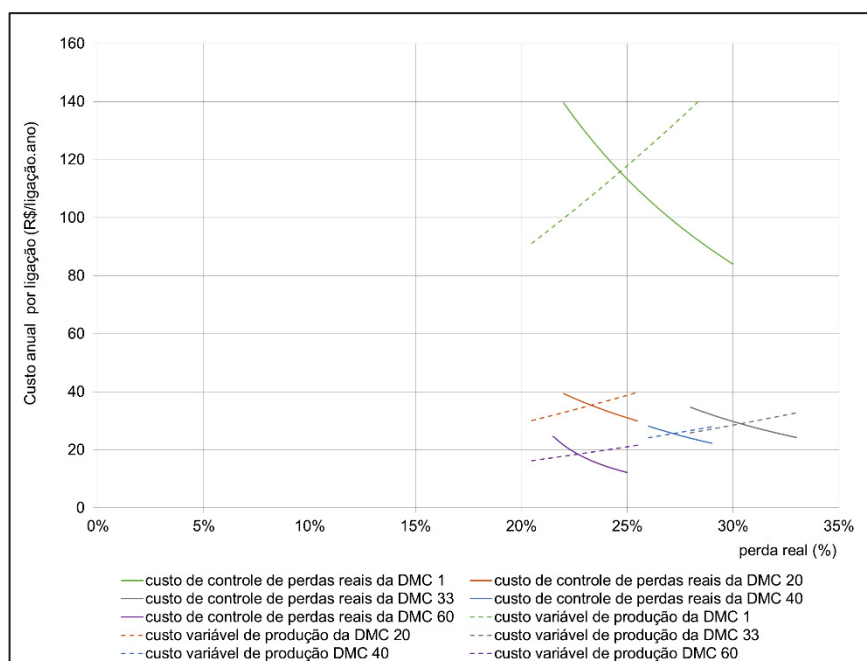
O raciocínio análogo pode ser feito para os DMCs com o IPV próximo a 2,0. A extensão de rede do DMC 1 é superior aos DMCs 20, 33, 40 e 60, conforme apresentado na TABELA 25, o que acarreta em custos de controle de perdas reais por ligação e variável de produção por ligação superiores em relação aos outros DMCs (FIGURA 62) e, portanto, em custos totais anuais também são superiores aos DMCs 20, 33, 40 e 60 (FIGURA 63).

TABELA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0

DMC	EXTENSÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO (Lm)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV)
-	(m)	(R\$/ligação.ano)	(adimensional)
1	214.931	89	2,0
20	67.237	28	2,0
33	11.600	29	2,0
40	86.388	23	2,0
60	142.799	20	2,0

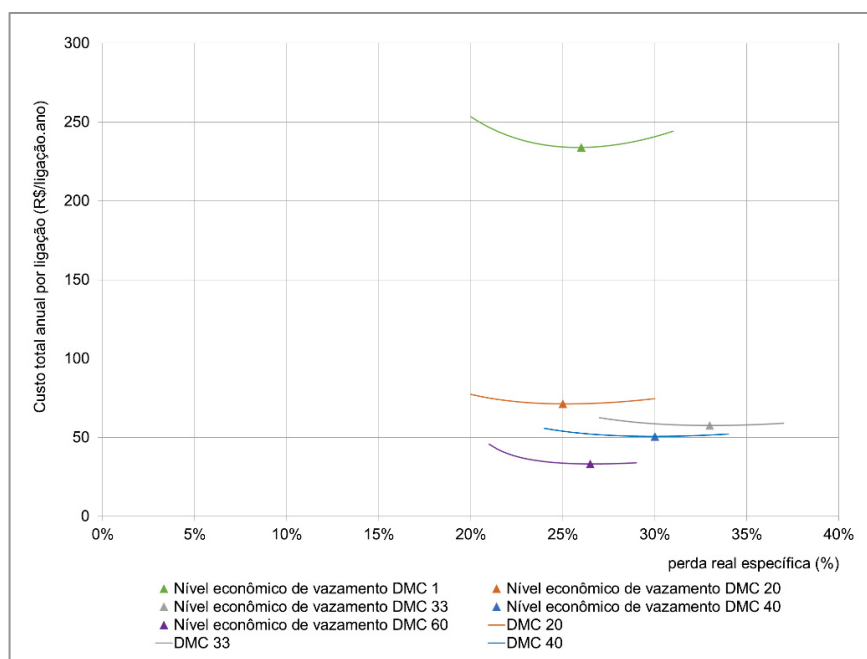
FONTE: Autora (2019).

FIGURA 62 – CUSTO ANUAL DE CONTROLE DE PERDAS REAIS POR LIGAÇÃO E CUSTO ANUAL VARIÁVEL DE PRODUÇÃO POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0



FONTE: Autora (2019).

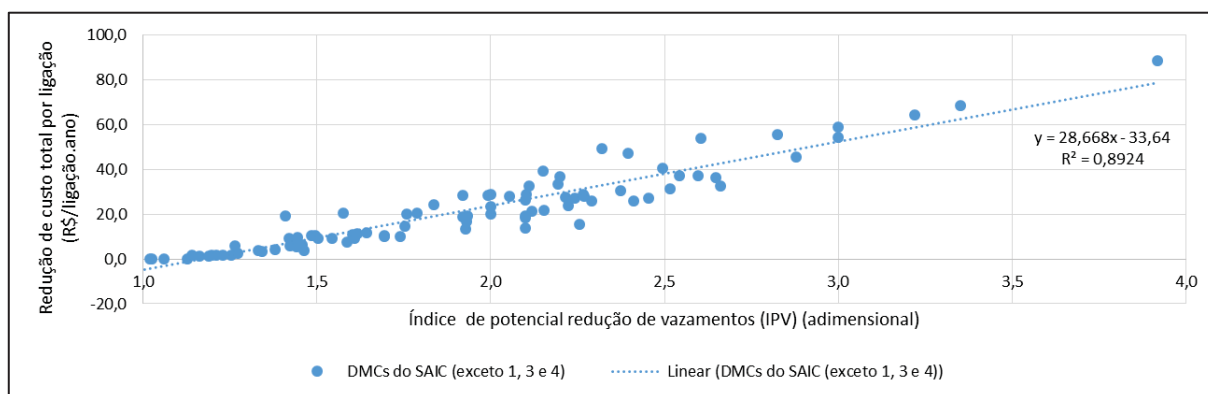
FIGURA 63 – CUSTO TOTAL ANUAL POR LIGAÇÃO DOS DMCs COM IPV EQUIVALENTE A 2,0



FONTE: Autora (2019).

Portanto, em função das particularidades encontradas nos DMC 1, 3 e 4, esses DMCs foram retirados do conjunto de amostras e determinou-se uma nova equação linear, cujo o resultado está apresentado na FIGURA 64. Observa-se que a nova equação do primeiro grau obteve um  $R^2$  equivalente a 0,8924 e superior ao da equação definida na FIGURA 59 (de 0,7729).

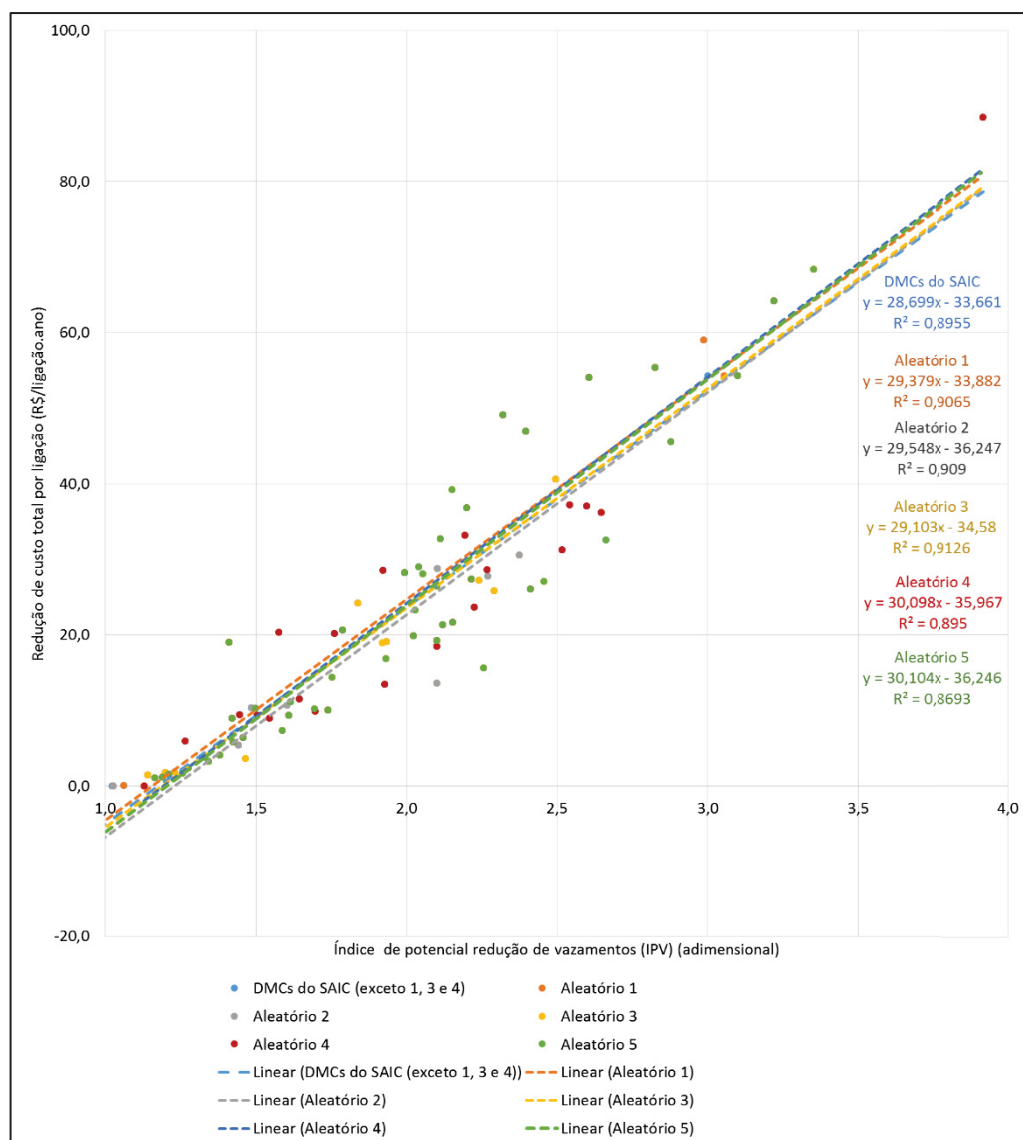
FIGURA 64 – REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (EXCETO DMCs 1, 3 e 4)



FONTE: Autora (2019).

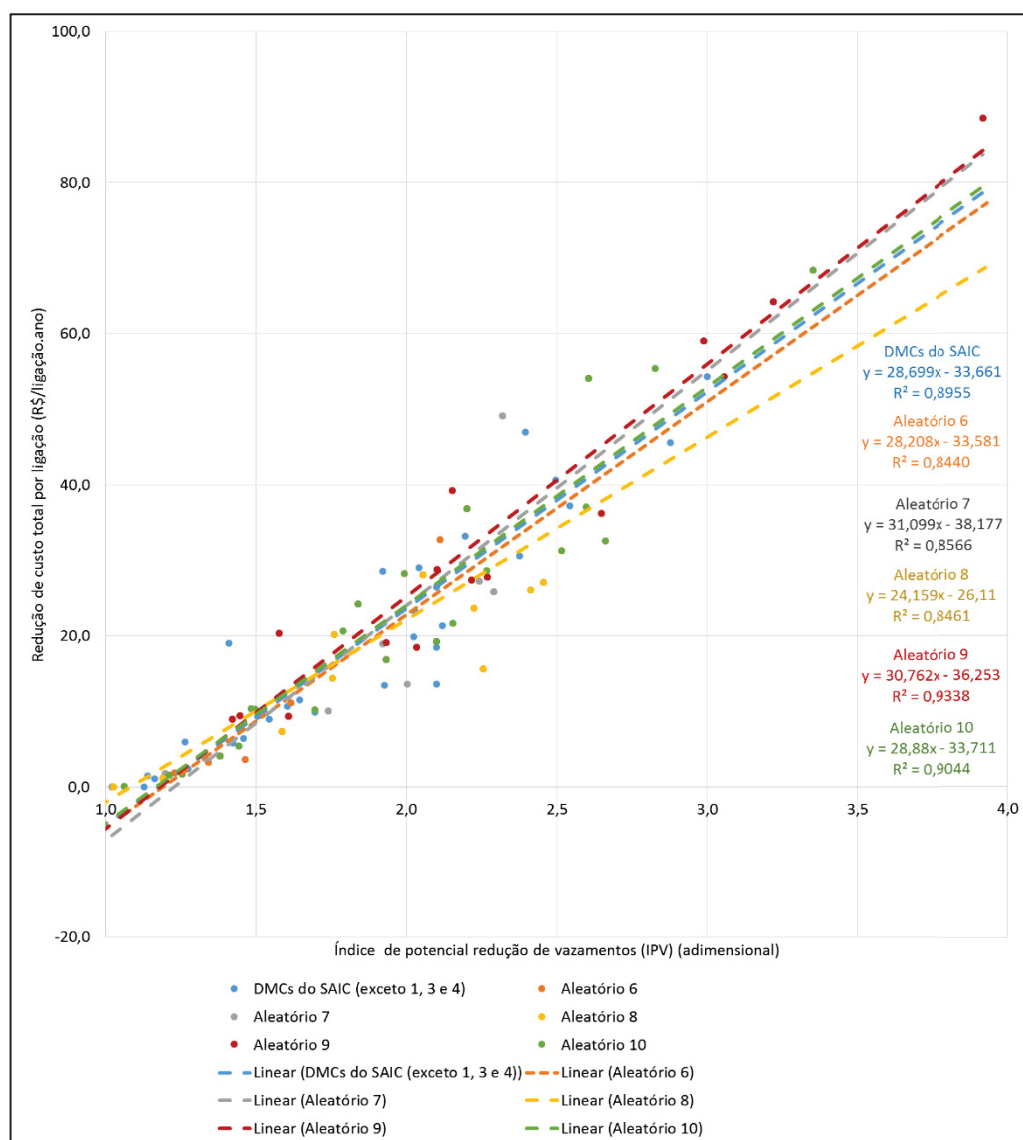
Com base nos 92 DMCs, também foram criadas cinco amostras aleatórias com tamanho de 50% e 25% do tamanho original de DMCs do SAIC, ou seja, foram selecionados aleatoriamente 46 e 23 DMCs (apresentados no apêndice 3 e 4, respectivamente) cinco vezes, os quais foram comparados ao resultado de 92 DMCs. Observou-se que mesmo reduzindo os DMCs pela metade (FIGURA 65) ou com uma amostra de 25% do total de DMCs (FIGURA 66), a correlação entre o IPV e a redução do custo total por ligação manteve-se alta, uma vez que o  $R^2$  variou de 0,895 a 0,909 para o cenário de redução de 50% e para o cenário de redução de 25%, o  $R^2$  variou de 0,8440 a 0,9338.

FIGURA 65 – COMPARAÇÃO ENTRE REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS DOS 92 DMCs DO SAIC A CINCO AMOSTRAS COM 46 DMCs SELECIONADOS ALEATORIAMENTE



FONTE: Autora (2019).

FIGURA 66 – COMPARAÇÃO ENTRE REDUÇÃO DE CUSTO TOTAL POR ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS DOS 92 DMCs DO SAIC A CINCO AMOSTRAS COM 23 DMCs SELECIONADOS ALEATORIAMENTE



FONTE: Autora (2019).

Assim, com base nesse novo método simplificado desenvolvido, pode-se determinar o nível econômico do vazamento em função da extensão da rede por ligação e do IVI calculado para o ano estudado, calcular o IPV com o nível econômico de vazamento obtido e aplicar em uma equação linear para estimar quantos reais serão economizados em produção, a partir dos investimentos em controle de perdas reais.

Essa estimativa de redução no custo de produção permite que o projetista tenha de maneira menos trabalhosa uma justificativa de investimento em perdas reais para o sistema avaliado, uma vez que o método não exige que o SAA inteiro seja

modelado, como foi comprovado pela redução dos DMCs do SAIC, ainda este sendo um SAA com diferenças entre os DMCs. Destaca-se ainda que essa redução não segue nenhum critério de seleção, ou seja, é uma seleção aleatória determinada por meio de uma rotina criada em Excel. A aleatoriedade leva em consideração a recomendação feita o item 4.1 de que não se deve avaliar apenas os DMCs de grande porte.

Portanto, o modelo simplificado é uma ferramenta de avaliação do SAA que demanda apenas dados para a aplicação um método para decomposição de perdas de água e um método de cálculo para a determinação do nível econômico de perdas, podendo então ser utilizada para planejamento futuro, independentemente do local.

Recomenda-se em estudos futuros incluir a extensão da rede de distribuição para a determinação da redução de custos total e também adaptar o método simplificado para a determinação das perdas aparentes em função do consumo por ligação.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e as discussões deste trabalho, que objetivaram avaliar o nível econômico em relação às perdas de água considerando os distritos de medição e controle, pertencentes no Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana – SAIC, permitiram estabelecer as seguintes conclusões, elencadas de acordo com os objetivos específicos definidos no Capítulo 1.

1. Avaliar as perdas reais e aparentes nos distritos de medição e controle do SAIC por meio do método do balanço hídrico e por indicadores e índices de perdas;
  - Da análise dos volumes, observou-se que o SAIC, como um todo, possui 78% das perdas totais (2.576,97 L/s) correspondente a perdas reais (vazamentos), que por sua vez equivale a capacidade de dois sistemas produtores, aproximadamente. Entretanto, ao analisar os DMCs individualmente, verificou-se que existe o predomínio das perdas reais sobre as aparentes em 78 dos 92 DMCs avaliados, significando que aplicar apenas ações de combate e controle de perdas reais no sistema inteiro, como sugerido pela análise global, não seria eficiente para àqueles DMCs onde a perda aparente é superior a real. Logo, a concessionária deve promover ações distintas de controle e combate de perdas de água nos DMCs, o qual não seria possível tomar sem a análise do SAA por DMC.
  - Também foi verificado que existem perdas reais e aparentes acima e abaixo da proporção encontrada pelo Banco Mundial para países em desenvolvimento (60% e 40%, respectivamente), o que revela que profissionais responsáveis pela avaliação de perdas em SAAs devem ter cautela na utilização de sugestões encontradas na literatura, uma vez que essas sugestões podem não retratar a realidade do sistema.
  - Ainda considerando os DMCs, verificou-se que alguns correspondem a soma de dois SAAs de cidades inteiras, o que reflete a complexidade do SAIC e a necessidade de avaliá-lo em função das especificidades locais de cada DMC. Outra condição observada foi que não se deve avaliar e priorizar apenas DMCs com maiores volumes de entrada, uma vez que nem sempre sistemas de grande porte terão perdas de água superiores a sistemas de menor porte.



- Quanto aos indicadores, o IPLr 2017 variou de 56,1 L/ligação.dia a 1.480,8 L/ligação dia, sendo que foi observada a influência das densidades de ligações no indicador, onde locais mais verticalizados resultaram em IPLr menores e áreas menos adensadas com IPLr maior. A análise do IPLr 2017 também permitiu verificar que existem áreas no SAIC com baixas perdas reais e que se aproximam de valores observados em cidades da Europa, porém existem outras regiões com elevadas perdas reais, especialmente na região central do sistema, onde a provável justificativa é a existência de uma infraestrutura mais antiga que necessita de reparo, porém devido à localização, é possível que os reparos sejam feitos minimamente e/ou nem realizados.
  - Considerando a categorização do IVI 2017, as piores categorias (C e D) representaram 69% do sistema, cuja localização se estende pela região oeste e norte de Curitiba e coincidem com as áreas que já possuíam problemas de desabastecimento em 2013.
  - O IPLa 2017 variou entre 7,5 L/ligação.dia a 550,9 L/ligação.dia, onde a análise do indicador revelou que nos maiores valores do indicador existe um maior consumo por ligação, justificado pelo fato que a maior parcela das perdas aparentes no SAIC deve-se a submedição de hidrômetros (77%). Nesse caso, destaca-se ainda que a resolução é mais simples quando comparada as perdas reais, uma vez que se faz necessário a substituição do hidrômetro conforme a diretriz de troca já estabelecida pela companhia.
2. Determinar e avaliar o nível econômico de vazamento e o nível econômico de perdas aparentes por meio de modelos econômicos;
- O Indicador de Perdas reais por Ligação econômico (IPLr econômico) variou de 49,8 L/ligação.dia a 736,1 L/ligação.dia e o Indicador de Perdas aparentes por Ligação econômico (IPLa econômico) variou entre 67,7 L/ligação.dia a 505,6 L/ligação.dia. Quando comparados aos indicadores existentes, evidenciou-se um grande potencial de redução de perdas reais, de 744,7 L/ligação.dia; ao contrário do potencial de redução de perdas aparentes, que foi de 69,5 L/ligação.dia, indicando que a

substituição dos hidrômetros tem acompanhado as diretrizes de troca da companhia.

- Considerando a categorização do IVI econômico, houve o predomínio categorias A e B, englobando 90% do sistema e o restante dos DMCs classificaram-se como C. Entretanto, essa categorização não indica que um DMC possui uma melhor qualidade operacional em relação ao outro, visto que sob a ótica econômica, os custos de reduzir o vazamento e o benefício obtido pelo controle de vazamento estão equilibrados.
- Quanto ao investimento no combate e controle de perdas e os cenários propostos no plano diretor de água de Curitiba, observou-se que o sistema produtor do SAIC está sendo ampliado, porém o volume que poderia ser recuperado por meio do investimento em perdas de água seria o suficiente para atender tais ampliações previstas. O investimento no combate e controle de perdas justifica-se inclusive em termos financeiros, dado que os investimentos na ampliação da produção são superiores ao do controle e combate de perdas, e ambientais, onde a qualidade dos rios de Curitiba e região metropolitana tem se reduzido ao longo dos anos. Portanto, destaca-se a importância de se avaliar as perdas reais no sistema, especialmente em projetos como o Plano Diretor do município, responsáveis por criar as diretrizes para os cenários futuros de abastecimento de água da população.
- A aplicação do modelo proposto por Wyatt (2010) e a diretriz de troca de hidrômetro da SANEPAR resultou numa possível redução no volume total de perdas de aproximadamente 1.358,8 L/s (42.851.088 m³/ano). Deste, 1.289,6 L/s corresponde ao volume reduzido de perdas reais e 69,1 L/s em redução de perdas aparentes. Propõem-se que ações de combate a perdas reais sejam a partir do centro de Curitiba para as periferias; para às ações de combate às perdas aparentes propõem-se que o início seja no centro de Curitiba e expanda radialmente para as periferias do SAIC. Tais conclusões tem como base a correlação entre o retorno econômico (real e aparente) e o potencial de redução de perdas (real e aparente).

### 3. Propor um modelo simplificado integrado

- Em função de todos os dados apresentados, a gestão de perdas é uma atividade indispensável para o planejamento do SAA. Entretanto, a maior dificuldade é a obtenção de dados de todos os DMCs. Assim, a proposta de aplicação do modelo simplificado integrado permite avaliar o SAA sob uma perspectiva global do sistema, podendo ser elaborado cenários que identifiquem prioridades de ações de maneira mais rápida, pois pode ser aplicado apenas à alguns DMCs, escolhidos aleatoriamente, como foi observado pela redução de 50 e 25% dos DMCs do SAIC. Dessa forma, esse modelo simplificado passa a ser uma ferramenta de decisão, que pode ser aplicado em planejamento de SAAs, como os planos diretores de água, a fim de definir áreas prioritárias de investimento.

## 6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos para a avaliação das perdas de água e dos respectivos níveis econômicos, são feitas as seguintes recomendações:

- Incluir a análise de perdas de água entre a captação e o reservatório (macromedição);
- Elaborar um modelo híbrido para determinação de perdas de água, como por exemplo a associação entre o método do balanço hídrico e o método *bottom-up*, podendo ser vinculado a uma análise estatística de erros e dos resultados obtidos;
- Avaliar as perdas aparentes econômicas considerando a parcela de uso não autorizado (que corresponde ao volume de fraudes e ligações clandestinas);
- Incluir a extensão da rede de distribuição para a determinação da redução de custos total e também adaptar o método simplificado para a determinação das perdas aparentes em função do consumo por ligação.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12216:1992. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento.** p. 1-18, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12217:1994. **Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento.** p. 1-4, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 212. **Medidores velocimétricos de água potável fria até 15 m<sup>3</sup>/h.** p. 1-19, 1999.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15538. **Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência.** p. 1-18, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12.218. **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento.** p. 1-23, 2017.

ADEDEJI, K.B.; HAMAM, Y.; ABE, B.T.; ABU-MAHFOUZ, A.M. **Towards achieving a reliable leakage detection and localization algorithm for application in water piping networks: an overview.** IEEE Access, v. 5, p. 20272–20285, 2017.

AESBE - Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de hidrômetros.** 1ª ed. Brasília, DF, v. 03, 2015a.

AESBE - Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Guia prático para quantificação de balanços hídricos e indicadores de desempenho operacional.** 1ª ed. Brasília, DF, v. 05, 2015c.

AESBE - Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Guia prático para método direto de quantificação de perdas reais em sistemas de abastecimento.** 1ª ed. Brasília, DF, v. 06, 2015b.

AGOSTINHO, M. de S. P. **Mapa SAIC.** [Mensagem pessoal]. Mensagem enviada por <mariellespa@sanepar.com.br>. 13 dez. 2018.

ÁGUAS PARANÁ. **Unidades Hidrográficas do Paraná.** 2006. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Unidades\\_Hidrograficas\\_A4.jpg](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Unidades_Hidrograficas_A4.jpg)>. Acessado em: 4 mar. 2019.

ÁGUAS PARANÁ. **Plano estadual de recursos hídricos do paraná.** Resumo executivo. 2010. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo\\_executivo\\_PLERH.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo_executivo_PLERH.pdf)>. Acessado em: 4 mar. 2019.

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. **Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review**. Water Resources Management, v. 30, p. 4985–5001, 2016.

AKPAN, P.U.; JONES, S.; EKE, M.N.; YEUNG, H. **Modelling and transient simulation of water flow in pipelines using WANDA Transient software**. Ain Shams Engineering Journal, v. 8, i. 3, p. 457-466, Setembro 2017.

ALKASSEH, J.M. A.; ADLAN, M. N.; ABUSTAN, I.; ABDUL AZIZ, H.; HANIF, A. **Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: a case study in Kinta Valley, Malaysia**. Water Resources Manager, v. 27, p. 1439–1455, 2013.

ALKASSEH, J. M. A.; ADLAN, M.N.; ABUSTAN, I.; HANIF, A.B.M. **Achieving an economic leakage level in Kinta Valley, Malaysia**. Water Utility Journal 11: 31-47, 2015.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M., PARENA, R. **Performance Indicators for Water Supply Services - Manual of Best Practice Series**. IWA Publishing, 2000.

ALEGRE, H; HIRNER, W; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R.; CABRERA JR, E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; MERKEL, W. **Performance Indicators for Water Supply Services**. IWA Manual of Best Practice. 3ª ed. Reino Unido, 2017.

ARIKAWA, K. C. DE O. **Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de Água – Proposta de Metodologia para Avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle**. 210 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de mestre em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ATLAS BRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2013. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/curitiba\\_pr#idh](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/curitiba_pr#idh)>. Acessado em: 25 de mar de 2019.

AZEVEDO NETTO, J. M. de; FERNANDEZ y FERNANDEZ, M.; ARAUJO R. de; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8ª ed. 11ª reimp. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

AWWA. American Water Works Association. **Manual of Water Supply Practices, M36**. Water Audits and Loss Control Programs, 4ª ed, Denver, 2016.

BAKKER, M; RAJEWICZ, T.; KIEN, H.; VREEBURG, J.H.G.; Rietveld, L.C. **Advanced control of a water supply system: a case study**. Water Pract Technol, v. 9, p. 264–276, 2014.

BBC. **Bosnia-Herzegovina country profile**. 2018a. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-europe-17211415>>. Acessado em: 01 mar. 2019.

BBC. **Serbia country profile**. 2018b. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-europe-17907947>>. Acessado em: 23 mar. 2019.

BBC. **Malta country profile.** 2018c. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-europe-17597837>>. Acessado em: 23 mar. 2019.

BBC. **Burundi country profile.** 2018d. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-africa-13085064>>. Acessado em: 27 de mar 2019.

BEAL, C.D.; FLYNN, J. **Toward the digital water age: survey and case studies of australian water utility smartmetering programs.** Utilities Policy, v. 32, p. 29–37, Março 2015.

BECHER, R. de C. G. **Dúvidas sobre o plano diretor de água.** [Mensagem pessoal]. mensagem enviada por <[becher@sanepar.com.br](mailto:becher@sanepar.com.br)>. 14 fev. 2019.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JR, G. A. **Instalações hidráulicas prediais usando tubos de PVC e PPR.** São Paulo: Blucher, 2013.

BRAGA, A. S. **Leakage and energy in water supply systems: an experimental approach.** 150p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BRAGHIROLI, M. A.; SANTOS, M. B. dos; BREGA FILHO, D. **Estação Elevatória de Água de Santana: um Caso de Sucesso na Redução de Perdas e Consumo de Energia no Setor de Saneamento.** Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World, 3º International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 9.984. **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 de julho de 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003. **Institui a Divisão Hidrográfica Nacional.** Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Publicado no Diário Oficial da União, Brasília, DF em 17 de dezembro de 2003.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 de janeiro de 2012.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. 648 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de outubro de 2017a.

BRASIL. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017.** Relatório pleno. Brasília, Distrito Federal, 2017b, 169 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018a.

BRASIL. ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema HIDRO-Telemetria. **Rede hidrometeorológica nacional.** 2018b. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/Mapa.aspx>>. Acessado em: 01 de Nov de 2018.

BRASIL. ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - sistema de informações hidrológicas.** 2018c. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acessado em: 01 de Nov de 2018.

BUREAU OF METEOROLOGY. **National performance report 2016–17: urban water utilities, part A.** Bureau of Meteorology, Melbourne, 2018.

CAMBOIM, W. L. L. **Aplicações de técnicas de controle Fuzzy em sistemas de abastecimento de água visando melhoria no rendimento energético e hidráulico.** 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Paraíba, 2012.

CASSA, A. M.; VAN ZYL, J. E. **Predicting the Leakage Exponents of Elastically Deforming Cracks in Pipes.** Procedia Engineering, 2014.

CHARALAMBOUS, B.; HAMILTON, S. **Water Balance - The Next Stage.** Proceedings of Water Loss 2012. International Water Association, London, 2012.

CHEUNG, P. B.; GIROL, G. V.; ABE, N; PROPATO, M. **Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system.** In: Integrating water systems (CCWI 2010), Londres, 2010.

CHIIPANTHENG, M. M. **Investigating the Suitability of Simple and Rapid Techniques for Leakage Management in Water Distribution Systems: A Case of Blantyre Water Supply Area.** Dissertação de mestrado, Universidade de Zimbabwe, Malawi, 2008.



CHISAKUTA, S; MAYUMBELO, K; MULENGA, K; SIMBEYE, I; WEGELIN, W; MCKENZIE, R; HAMILTON, S; ANDERS, D. **Non-revenue water: trainers manual**. Wave Pool Zambia. German Foundation for International Cooperation (GIZ), Alemanha, 2011.

COLOMBO, A. F.; LEE, P.; KARNEY, B. W. **A selective literature review of transient based leak detection methods**. Journal of Hydro-environment Research, v. 2, p. 212-227, 2009.

COLOMBO, A.F.; KARNEY, B.W. **Impacts of leaks on energy consumption in pumped systems with storage**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 131, p. 146–155, 2005.

CONEJO, J. G. L.; LOPES, A. R. G.; MARCKA, E. **Medidas de Redução de Perdas - Elementos para Planejamento: DTA C3**. Brasília: Programa de Combate Ao Desperdício de Água - PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 1999. 31 p.

COSTA, A. I. F. L. V. da. **Eficiência econômica na operação de estações elevatórias de abastecimento de água**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Porto, Portugal, 2009.

COUVELIS, F.; VAN ZYL, J.E. **Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa**. Water SA, v.45, p 698-704, 2015.

COVAS, D.; RAMOS, H. **Case studies of leak detection and location in water pipe systems by inverse transient analysis**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 136, p. 248-257, Março 2010.

COVAS, D.; RAMOS, H. **Minimização de perdas de água em sistemas de abastecimento**. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). Abastecimento de água. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p. 47-66.

COVAS, D.; RAMOS, H.; GRAHAM, N.; MAKSIMOVIC, C. **Application of hydraulic transients for leak detection in water supply systems**. Water Science & Technology: Water Supply, v.4, p. 365–374, Dezembro 2004.

CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C.M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. **Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply**. Water Science and Technology, v. 60, p. 2373-2382, 2009.

CUNHA, A. A. R. **Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2010.

CURITIBA. **Lei n.º 9800**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Diário Oficial, Curitiba, 2000.

DANILENKO, A., VAN DEN BERG, C., MACHEVE, B., MOFFITT, L. J. **The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook**. World Bank Group, Washington, DC, 2014.

DRAMA. **Drama Population**. 2011. Disponível em: <<http://population.city/greece/drama/#1>>. Acessado em: 25 de mar de 2019.

DVGW. Deutscher Verein des Gas und Wasserfaches e.V. Technischwissenschaftlicher Verein [Tradução Livre: Associação Técnica e Científica Alemã de Gás e Água]. **DVGW Worksheet W 392 - Pipe Network Inspection and Water Losses - Measures, Techniques and Assessment**. Bonn, Alemanha, 2003.

EL PAÍS. **Os intocáveis do país invisível**. 2014. Disponível em: <[https://brasil.elpais.com/brasil/2014/11/27/internacional/1417094596\\_487750.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2014/11/27/internacional/1417094596_487750.html)>. Acessado em: 27 de mar 2019.

EL PAÍS. **Ciclone Idai mata centenas e devasta o sudeste da África**. 2019. Disponível em: <[https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/20/internacional/1553042239\\_772596.html?rel=mas](https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/20/internacional/1553042239_772596.html?rel=mas)>. Acessado em: 27 de mar 2019.

EPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems**. 176p. Washington D.C., 2010.

FANNER, P., THORNTON, J., LIEMBERGER, R. and STURM, R. **Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies**. AWWA Research Foundation, AWWA/IWA, Denver, USA/ London, UK, 2007.

FANTOZZI, M; LAMBERT, A. **Including the effects of pressure management in calculations of Short-Run Economic Leakage Levels**. Water Loss 2007: Conference Proceedings 2007', Bucharest -Romania. ISBN 978-973-7681-24-9.Paper 24, Volume 1, pp 256-26. 23-26 Set 2007.

FARAH, E.; SHAHROUR, I. **Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow**. Water Resources Management, Julho 2017.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control**. International Water Association Publishing, 2003.

FARLEY, M.; WYETH,G.; GHAZALI, Z. B. Md.; Istandar, A.; SINGH, S. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook a Guide to Understanding Water Losses**. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID). 110p. Malaysia, 2008.

FERRANTE, M.; BRUNONE, B. **Pipe system diagnosis and leak detection by unsteady tests. 2: Wavelet analysis**. Advances in Water Resources, v. 26, p. 107-116, Janeiro 2003.

FENG, S.; FU, Q. **Expansion of global drylands under a warming climate**. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, v. 13, p.081–10  
FMI. Fundo Monetário Internacional. **World Economic Outlook: Challenges to Steady Growth**. Washington, DC, Outubro, 2018.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. **INCC-M de março de 2019**. 2019. Disponível em: <<https://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumPagelId=402880811D8E34B9011D9CE5F612270C&lumItemId=8ABC409869A1DBAC0169B98EDC04777D>>. Acessado em: 29 de mar de 2019.

FREITAS, V. V. **Controle e Redução de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água: Contribuição na Preservação dos Mananciais de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. 156p. São Paulo, 2010.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Observando os Rios 2018: O retrato da qualidade da água nas bacias da Mata Atlântica**. 2018. Disponível em: <[https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2018/03/SOSMA\\_Observando-os-Rios-2018\\_online.pdf](https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2018/03/SOSMA_Observando-os-Rios-2018_online.pdf)>. Acessado em: 1 mar. 2019

GANORKAR, R.A.; KHEDIKAR, I.P. **Water Audit**. International Journal of Advanced Engineering Sciences And Technologies, v. 8, p. 039 - 048, Agosto 2011.

GOODWIN, S.J. **The results of the experimental programme on leakage and leakage control**. Water Research Centre. Technical Report 154, 1980.

GOMES, R.J.; MARQUES, A.S.; SOUSA, J. **Decision Support System to Divide a Large Network Into Suitable District Metered Areas**. Water Science & Technology, IWA Publishing, v. 65, p. 1667–1675, 2012.

GONELAS, K.; KANAKOUDIS, V. **Reaching economic leakage level through pressure management**. Water Science and Technology-Water Supply. Volume: 16 Edição: 3 Páginas: 756-765. DOI: 10.2166/ws.2015.181. Jun 2016.

GOUZEE, N.; MAZIIN, B.; BILLHARZ, S. **Indicators of Sustainable Development for Decision-Making**. Report of the Workshop of Ghent, Bélgica, 1995.

GUPTA, A.; KULAT, K.D. **A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System**. Water Resources Management. v. 32, p. 3247-3269, Abril 2018.

GUPTA, A.; BOKDE, N.; MARATHE, D.; KULAT, K. **Leakage Reduction in Water Distribution Systems with Efficient Placement and Control of Pressure Reducing Valves Using Soft Computing Techniques**. Eng Technol Appl Sci Res v. 7, p. 1528–1534, 2016.

GURAV, P.; CORNELIO, A. A.; KAWAMOTO, T. **Simulator for NRW and real loss estimation in water distribution systems for developing countries**. IWA Water Loss Conference. Water Loss 2018, Cape Town, South Africa, 2018.

HAMILTON, S.; MCKENZIE, R. **Water management and water loss**. 1ª ed. Alliance House London, UK. ISBN 9781780406367, IWA Publishing, 2014.

HAMILTON, S.; CHARALAMBOUS, B. **Leak detection: Technology and implementation**. IWA Publishing, p. 112, 2013.

HUANG, J; JI, M.; XIE, Y.; WANG, S.; HE, Y.; RAN, J. **Global semi-arid climate change over last 60 years**. Climate Dynamics, 2016, v. 46(3-4), p.1131–1150

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa da população Residente nos municípios brasileiros com data de referência de em 1º de julho de 2018**. 2018. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\_de\_Populacao/Estimativas\_2018/estimativa\_TCU\_2018\_20190107.pdf> Acesso em:5 fev. 2019.

INE. Instituto Nacional de Estatística. **Resultados definitivos recenseamento geral da população e habitação - 2014**. Angola, 2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica – 2018**. Relatório. São Paulo, 2018.

ISLAM, M.; BABEL, M. **Economic Analysis of Leakage in the Bangkok Water Distribution System**. Journal of Water Resources Planning and Management, v.139 p.209-216. 2013.

JONG, P. de; TANAJURA, C.A.s.; SANCHEZ, A.S.; DARGAVILLE, R.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E.A. **Hydroelectric production from Brazil's Sao Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability**. Volume: 634, Setembro 2018, Páginas: 1540-1553.

JOWITT P. W.; XU, c. **Predicting pipe failure effects in water distribution networks**. Jour. Water Res. Plan. & Man, v. 119, p. 18-31, 1993.

KANAKOUDIS, V.; TOLIKAS, D. **The role of leaks and breaks in water networks – Technical and economical solutions**. Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA, IWA, v.50, p. 301-311, 2001.

KANAKOUDIS, V.; TOLIKAS, D. **Assessing the Performance Level of a water system**. Water, Air & Soil Pollution, Kluwer Academic Publishes, v.4, p. 307-318, 2004.

KANAKOUDIS, V. **Vulnerability based management of water resources systems**. Hydroinformatics, IWA, v. 6, p. 133-156, 2004.

KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S. **Water volume vs. revenues oriented water balance calculation for urban water networks: the 'Minimum Charge Difference'**

**component makes a difference!** Proceedings of the International Conference on 'Water Loss', São Paulo, Brasil, 2010.

KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S.; SAMARAS, P.; ZOUBOULIS, A.I. **Water Pipe Networks Performance Assessment: Benchmarking Eight Cases Across the EU Mediterranean Basin.** Water Quality, Exposure and Health, v. 7, p 99-108, Março 2015.

KARADIREK, I.; Kara, S.; Yilmaz, G.; Muhammetoglu, A.; Muhammetoglu, H. **Implementation of hydraulic modelling for water-loss reduction through pressure management.** Water Resour Manage, v. 26, p. 2555–2568, 2012.

KARIM, M. R.; ABBASZADEGAN, M.; LECHEVALLIER, M. **Potential for pathogen intrusion during pressure transients.** American Water Works Association Journal, v.95, p. 134-146, 2003.

KARNEY, B.; KHANI, D.; HALFAWY, M. R.; HUNAIDI, O. **A Simulation Study on Using Inverse Transient Analysis for Leak Detection in Water Distribution Networks.** Journal of Water Management Modeling. 2009. DOI: 10.14796/JWMM.R235-23.

KHADER, M. R. D. **A non-destructive methodology for leak detection in water networks using infrared photography (IR) and Ground Penetrating Radar (GPR).** Tese de doutorado, Universidade de Qatar, Qatar, 2016.

KIM, S. H.; ZECCHIN, A.; CHOI, L. **Diagnosis of a pipeline system for transient flow in low Reynolds number with impedance method.** Journal of Hydraulic Engineering, v. 140, Dezembro 2014.

KINGDOM, B., LIEMBERGER, R.; MARIN, P. **The challenge of reducing non-revenue (NRW) water in developing countries - how the private sector can help: a look at performance-based service contracting.** Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series. The World Bank. Washington, DC. 2006. Disponível em: <<https://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/WSS8fin4.pdf>>. Acessado em 27 de nov de 2018.

KLINGEL, P.; KNOBLOCH, A. **Methods and Instruments for Reducing Real Water Losses.** In: Guidelines for Water Loss Reduction. A Focus on Pressure Management. Germany. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (GIZ) and VAG Armaturen. 236p. 2011.

KLINGEL, P.; KNOBLOCH, A. **A Review of Water Balance Application in Water Supply.** Journal American Water Works Association, v.107, p. E339-E350, Jul 2015.

KUSTERKO, S.K.; ENSSLIN, S.R.; ENSSLIN, L. **Avaliação de desempenho quanto à gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água através da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão - Construtivista (MCDA-C).** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015.



LAMBERT, A.; BROWN, T. G.; TAKIZAWA, M.; WEIMER, D. **A review of performance indicators for real losses from water supply systems.** Journal of Water Supply: Research & Technology - Aqua, 48 (6), 227–237, 1999.

LAMBERT, A. O.; HIRNER, W. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures.** Task Force on Water Losses. Operations and Maintenance Committee. International Water Association. IWA. 2000. Disponível em: <<http://www.iawq.org.uk/template.cfm?name=home>>. Acessado em 11 de Maio de 2017.

LAMBERT, A. **What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems?** In: Proceedings of IWA Conference System Approach to leakage control and water distribution system management. República Tcheca, 2001.

LAMBERT, A.; LALONDE, A. **Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management.** Proceedings of Leakage 2005 Conference (p. 1–12), Halifax, Canada: International Water Association, 2005.

LAMBERT, A.; FANTOZZI, M. **Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control and implications for calculation of economic leakage levels.** Water Sci Technol Water Supply, v. 5, 2005.

LAMBERT, A. **Ten Years Experience in using the UARL formula to calculate Infrastructure Leakage Index.** Proceedings of 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference, p. 189–196, Cidade do Cabo, África do Sul. Mar 2009. Disponível em <[http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/2009\\_LambertWaterlossCapetown-2009J.pdf](http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/2009_LambertWaterlossCapetown-2009J.pdf)>. Acesso em: 22 de Maio de 2018.

LAMBERT, A.; TAYLOR, R. **Water Loss Guidelines.** Water New Zealand - The New Zealand Water & Wastes Association, 2010.

LAMBERT, A.; CHARALAMBOUS, B.; FANTOZZI, M.; KOVAC, J.; RIZZO, A., GALEA St John, S. **14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe.** 2014. Disponível em: <[http://www.mcast.edu.mt/Portals/0/IAS\\_Lib/IWA\\_April\\_2014-Water\\_Benchmarking.pdf](http://www.mcast.edu.mt/Portals/0/IAS_Lib/IWA_April_2014-Water_Benchmarking.pdf)>. Acesso em: 25 abril 2018.

LAMBERT, A.; VERMERSCH, M.; CARTEADO, F.; RIZZO, A.; JOHNSON, E.; ARREGUI, F. **Guidance notes on apparent losses and water loss reduction planning.** Setembro 2016. Disponível em <<http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2016/09/AL-Guidance-Note-Final-15th-Sep-2016.pdf>>. Acessado em 6 de Agosto de 2018.

LANSEY, K.; BOULOS, P. **Comprehensive Handbook on Water Quality Analysis for Distribution Systems.** 2005. 448 p.

LEE, J.S.; KIM, B.K.; LEE, W.R.; OH, K.Y. **Analysis of water hammer in pipelines by partial fraction expansion of transfer function in frequency domain**. Journal of Mechanical Science and Technology, v. 24, p. 1975-1980, Outubro 2010.

LESYSHEN, R. **City of Nanaimo Water Audit**. Kerr Wood Leidal Associates Ltd., Vancouver, Canada, 2013.

LHDA. Lesotho Highlands Development Authority. **Annual report 2004/2005**. 2005. Disponível em: <[http://www.lhda.org.ls/lhdaweb/Uploads/documents/Annual\\_Reports/Annual\\_Report\\_2004\\_05.pdf](http://www.lhda.org.ls/lhdaweb/Uploads/documents/Annual_Reports/Annual_Report_2004_05.pdf)>. Acessado em: 28 mar 2019.

LHDA. Lesotho Highlands Development Authority. **Lesotho Highlands Water Project**. 2009. Disponível em: <<https://www.water-technology.net/projects/lesotho-highlands/>>. Acessado em: 28 mar 2019.

LIM, E.; SAVIC, D.; KAPELAN, Z. **Development of a Leakage Target Setting Approach for South Korea based on Economic Level of Leakage**. 13th Computer Control for Water Industry Conference (CCWI), 2015.

LIEMBERGER R. **Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be?** IWA Specialised Conference, Leakage Management - A Practical Approach, Cyprus, November 2002, Conference Proceedings, ISBN 9963875904 (download from [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))

LIEMBERGER, R.; FARLEY, M. **Developing a Nonrevenue Water Reduction Strategy, Part 1: Investigating and Assessing Water Losses**. Proceeding of the 4th World Water Congress. International Water Association, London, 2004.

LIEMBERGER, R., MCKENZIE, R. **Accuracy Limitations of the ILI - Is it an Appropriate Indicator for Developing Countries**. In Conference Proceedings, IWA Leakage 2005 Conference in Halifax. Nova Scotia, Canadá, 2005.

LIGGETT, J. A.; CHEN, L. C. **Inverse transient analysis in pipe networks**. J. Hydraul. Eng., v. 120, p. 934–955, 1994.

LIU, J.C.P., HALL, R.J., MCMAHON, M.C. **Hazardous liquid leak detection techniques and processes**. NTSB Report DTRS56-02-D-70027-01. General Physics Corporation, 2003

LIU, Z.; KLEINER, Y. **State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes**. Measurement, v. 46, p. 1-15, 2013.

MAKROPOULOS, C.K.; BUTLER, D. **A neurofuzzy spatial decision support system for pipe replacement prioritisation**. Urban Water Journal, v. 2, p. 141–150, 2005.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. Revista USP, v.106, p. 31–44, 2015.

MARTINS, N. M. C.; SOARES, A. K.; RAMOS, H. M.; COVAS, D. C. **CFD modeling of transient flow in pressurized pipes**. Computers & Fluids, v. 126, p. 129–40, Março 2016.

MAZZOLANI, G.; BERARDI, L.; LAUCELLI, D.; MARTINO, R.; SIMONE, A.; GIUSTOLISI, O. **A Methodology to Estimate Leakages in Water Distribution Networks Based on Inlet Flow Data Analysis**. Procedia Engineering, v. 162, p. 411–418, 2016.

MCKENZIE, R., LAMBERT, A. **Econoleak: Economic model for leakage management for water suppliers in South Africa: User guide** (WRC Report TT 169/02). Pretoria, Republic of South Africa: South African Water Research Commission, 2001. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za/Other%20Documents/Software/econoleak/TT%20169-02.pdf>> Acessado em: 23 de Julho de 2018.

MCKENZIE, R.; SEAGO, C.; LIEMBERGER, R. **Benchmarking of losses from potable water reticulation systems – results from IWA Task Team**. Proceedings of the 'Water Loss Conference 2007'. Bucharest, Romania, p. 161–175, 2007.

MELATO, D. S. **Discussão de uma Metodologia para Diagnóstico e Ações para Redução de Perdas de Água: Aplicação no Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo**. 133p. Dissertação (Mestrado) – Curso de mestre em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MENICONI, S.; BRUNONE, B.; FERRANTE, M.; MASSARI, C. **Transient tests for locating and sizing illegal branches in pipe systems**. J. Hydroinf., v. 13, p. 334–345, 2011.

MERKS, C. **NRW as % of System Input Volume just doesn't work!**. WaterWorld. v. 32, Janeiro 2017.

MITCHELL, G. **Problems and fundamentals of sustainable development indicators**. Sustainable Development, v. 4, p. 1-11, 1996.

MONTENEGRO, L. L. B. **Eficiência Hidráulica e energética da operação do bombeamento para o abastecimento do bairro de Mangabeira em João Pessoa**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Paraíba, 2009.

MOREIRA, D. F.; RAMOS, H. **Energy cost optimization in a water supply system case study**. Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, 2013.

MORRISON, J.; TOOMS, S.; ROGERS, D. **District Metered Areas Guidance Notes**. DMA Team of the Water Loss Task Force. IWA - International Water Association. 100p. Londres, 2007.

MOURA, E. M.; DIAS, I. C. S.; SILVA, J. S.; SILVA, F. C. **Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas**. In: IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de



Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa, 2004. Disponível em: <[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/abordagem\\_sobre\\_perdas\\_co.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/abordagem_sobre_perdas_co.pdf)>. Acessado em 30 nov. 2017

MUTIKANGA, H.E.; SHARMA, S.K.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Assessment of apparent losses in urban water systems**. Water and Environment Journal, v. 25, p. 327 – 335, Março 2010.

MUTIKANGA, H. E. **Water loss management - tools and methods for developing countries**. 276p. Tese (Doutorado). UNESCO-IHE Institute for Water Education, Holanda, 2012.

MUTIKANGA, H.E.; SHARMA, S.K.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems**. J. Water Resour. Plann. Manage, v. 139, p. 166-174, 2013.

MUNIZ, G. Medidas de eficiência energética no sistema de abastecimento de **água do Rio das Velhas na região metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2016.

MUNOZ-TROCHEZ, C.; SMOUT, I.; KAYAGA, S. **Incorporating energy use into the economic level of Leakage Model**. World Wide Workshop for Young Environmental Scientists: 2010. Arcueil, França, 2010.

NAZIF, S.; KARAMOUZ, M.; TABESH, M.; MORIDI, A. **Pressure management model for urban water distribution networks**. Water Resour Manag, v. 24, p. 437–458, 2010.

NCUBE, M.; TAIGBENU, A. **Assessment of Apparent Losses due to Meter Inaccuracy using an alternative, valid methodology**. In Proceeding of the IWA Water Loss Conference, 2018.

NIELSEN, M.J.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M.A.C. **Medição de água: estratégias e experimentações**. Curitiba: Sanepar. 2003. 218 p.

PALAU, C. V.; ARREGUI, F. J.; CARLOS, M. **Burst detection in water networks using principal component analysis**. Journal of Water Resources Planning and Management. New York, v.138, n.1, 2012.

PALO, P. R. **Avaliação da Eficácia de Modelos de Simulação Hidráulica na Obtenção de Informações para Diagnóstico de Perdas de Água**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2010

PARANÁ. **Decreto n.º 3.411**. Declara as Áreas de Interesse de Mananciais de Abastecimento Público para a Região Metropolitana de Curitiba e dá outras providências. Diário Oficial, Paraná, Curitiba, 2008.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Uso racional da Água**. Paraná, Curitiba, 2018.

PELLETIER, G.; MAILHOT, A.; VILLENEUVE, J. P. **Modeling water pipe breaks-Three case studies**. Journal of water resources planning and management, v. 129, p. 115-123, 2003.

PENA, M. M. **Aplicação e análise da metodologia da IWA para o controle de perdas no sistema de abastecimento de água da baixada de Jacarepaguá/RJ**. 364p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE/RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010

PETROULIAS, N.; FOUFEAS, D.; BOUGOULIA, E. **Estimating water losses and assessing network management intervention scenarios: the case study of the water utility of the city of Drama in Greece**. Procedia Engineering, v. 162, p. 559 – 567, 2016.

PHILIPPI JR., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP, 2018. 1000 p.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2015**. 2015. Disponível em: <[http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr15\\_overview\\_pt.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr15_overview_pt.pdf)>. Acessado em: 27 de mar 2019.

POPOVA, V.; SHARPANSKYKH, A. **Modeling organizational performance indicators**. Information Systems, Elsevier, v. 35, p. 505-527, 2010.

PORTAL G1. **Após fraudes, companhia de água fiscaliza hidrômetros em Itatiba, SP**. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/noticia/2012/03/apos-fraudes-companhia-de-agua-fiscaliza-hidrometros-em-itatiba-sp.html>>. Acessado em: 16 Ago de 2018

PORTAL PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ. **Semasa amplia trabalho de combate às fraudes em ligações de água em 2017**. 2018. Disponível em: <<http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/noticias/item/11850-semasa-amplia-trabalho-de-combate-as-fraudes-em-ligacoes-de-agua-em-2017>>. Acessado em: 4 Dez 2018.

PRESTES, M. F; LAGANA, M. F. **O tratamento urbanístico do componente físico ambiental nas urbanizações de assentamentos precários na bacia Altíssimo Iguaçu – RMC**. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL (XVII ENANPR), São Paulo, 2017. Anais eletrônicos: São Paulo: FAU/USP, 2017. Disponível em: <[http://anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR\\_Anais/ST\\_Sessoes\\_Tematicas/ST%205/ST%205.9/ST%205.9-01.pdf](http://anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Sessoes_Tematicas/ST%205/ST%205.9/ST%205.9-01.pdf)> Acesso em: 19 fev. 2019.

PRIMEWORKS. **Water network data management software**. 2018. Disponível em: <<https://en.freedownloadmanager.org/Windows-PC/PrimeWorks.html>>. Acessado em: 13 dez 2018

PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. **Uso racional de água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352 p.

PUUST R, KAPELAN Z, SAVIC DA, K. T. **A review of methods for leakage management in pipe networks**. Urban Water Journal. v. 7, p. 25–45, 2010.

QUN, M.; JIAYUAN, w.; CHAO, L. **Energy-Saving Optimization of Water Supply Pumping Station Life Cycle Based on BIM Technology**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1st International Global on Renewable Energy and Development, v. 100, 2017.

RAJAUD, A.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N. de. **Tropical semi-arid regions expanding over temperate latitudes under climate change**. Climatic Change. Volume 144, Issue 4, p 703–719, Outubro de 2017.

RADIOVOJEVIĆ, D.; MILIĆ EVIĆ, D.; BLAGOJEVIĆ, B. **IWA best practice and performance indicators for water utilities in Serbia – case study Pirot**. Architecture and Civil Engineering, v. 6, 2008.

RDN. Regional District of Nanaimo. **Population Statics**. 2016. Disponível em: <<https://www.rdn.bc.ca/population-statistics>>. Acessado em: 25 de mar de 2019.

REIS, L. F. R.; CHEUNG, P. B. **Os vazamentos nas redes de distribuição de água**. In: GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). Abastecimento de água. João Pessoa: Editora UFPB, 2007. p. 67-84.

RÍOS, J.C.; SANTOS-TELLEZ, R.U.; RODRÍGUEZ, P.H.; LEYVA, E.A.; MARTÍNEZ, V.N. **Methodology for the identification of apparent losses in water distribution networks**. Procedia Engineering, V.70, p. 238 – 247, 2014.

RIZZO, A.; PEARSON, D.; STEPHENSON, M.; HARPER, N. **Apparent Water Loss Control: A Practical Approach**. IWA Water Loss Task Force. Water 21, v. 6, p 44–45, 2004.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Superintendência de Gestão e Desenvolvimento Operacional de Sistemas Regionais. Departamento de Controle de Perdas e Desenvolvimento Operacional. **SISPERDAS V.3: procedimento para entrada de dados**. São Paulo: SABESP, 2005.

SAMIR, N.; KANSOHA, R.; ELBARKIB, W.; ELEIFI, W. **Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems**. Alexandria Engineering Journal, v. 56, p. 601-612, Dezembro 2017.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Plano Diretor SAIC: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana**. Curitiba: SANEPAR, 2013. 142p.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Consulta ao Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas - Sapiens**. 2017a. Acessado em 2018 e 2019.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Programa de efficientização do parque de hidrômetros da SANEPAR**. Diretoria de Operações. 2017b.

SANTOS, A. M. dos; GALVINCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. de. **Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil**. V. 81, Issue 81, Agosto 2013, p. 51-65.

SAYERS, D.; JERNIGAN, W.; KUNKEL, G.; CHASTAIN-HOWLEY, A. **The Water Audit Data Initiative: Five Years and Accounting**. J. Am. Water Works Assoc., v. 108, p. 201-212, 2016.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução nº 24. **Institui as diretrizes para a gestão de Bacias Hidrográficas**. 06 de junho de 2006. Curitiba, 2006a.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução nº 49. **Dispõe sobre a instituição de Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. 20 de dezembro de 2006. Curitiba, 2006b.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Bacias Hidrográficas do Paraná – Série Histórica. 2ª Edição, 140 p., Curitiba, 2015.

SHARMA, S.K.; CHINOKORO, H. **Estimation of ELL and ELWL for Lusaka Water Distribution System**. Proceedings of Water Loss 2010. International Water Association, London, 2010.

SHARMA, S.K.; NHEMAFUKI, A. **Water Loss Management in Bhaktapur and Dhulikhel Cities in Nepal**. Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference. International Water Association, London, 2009.

SHAMLOO, H.; HAGHIGHI, A. **Leak detection in pipelines by inverse backward transient analysis**. Journal of Hydraulic Research, v. 47, p. 311-318, Abril 2010.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países**. Ambiente e sociedade, v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007.

SOARES, A. K.; MARTINS, N.; COVAS, D. C. **Transient vaporous cavitation in a horizontal copper pipe**. Journal of Hydraulic Research, v. 55, p. 731-736, Fev 2017.

SORASEE, N. **Water leak icons sets**. 2018. Disponível em: <[https://fr.123rf.com/photo\\_60305016\\_tuyau-d-%C3%A9clatement-et-de-fuite-d-eau-vecteur-ic%C3%B4ne-ensemble-design-.html](https://fr.123rf.com/photo_60305016_tuyau-d-%C3%A9clatement-et-de-fuite-d-eau-vecteur-ic%C3%B4ne-ensemble-design-.html)>. Acessado em 4 dez 2018.

SOUSA, E. c. de. **Estudos para determinação do nível econômico de vazamento na rede de distribuição de água da zona baixa de Maceió**. Universidade Federal De Alagoas - UFA. Tese de Mestrado. Maceió, 2011

SOUSA, A. C.; SOARES, A. K. **Modelo para otimização da operação de sistemas de distribuição de água utilizando o algoritmo genético multiobjetivo SPEA**. Exacta – EP, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 313-324, 2014.

SMOUT, I.K.; KAYAGA, S.M.; MUNOZ-TROCHEZ, C. **Adapting the economic level of leakage concept to include carbon emissions, and application with limited data**. IWA World Water Congress 2010, Montreal, Canadá, 2010.

SOUZA, E.V.D., COSTA, M.A. **Management system for improving the efficiency of use water systems water supply**. Procedia Engineering 70, 458-466, 2014.

SOUZA JÚNIOR, J. do C. de. **Distritos de Medição e Controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. Ed.1. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 643 p.

TARDELLI FILHO, J. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água**. Revista DAE. São Paulo, SABESP, Volume 64, Edição 201, Jan./Abr, 2016. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_201\\_n\\_1622.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf)> Acessado em: 30 nov 2017.

HOWARD. **Water and Wastewater Treatment Infographic**. 2015. Disponível em: <<https://tataandhoward.com/2015/10/water-and-wastewater-treatment-infographic/>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

THORNTON, J.; STURM R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control**. 2ª ed. The MacGrawHill. United State of America, 2008.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Daikoku, 2006. 643 p.

UN. United Nations. **The Millennium Development Goals Report**. 2015.

UNIÃO EUROPÉIA. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM -Main Report**. 2015 .ISBN 978-92-79-45069-3, doi: 10.2779/102151

UNICEF. United Nations International Children's Emergency Fund. **1 milhão de crianças afectadas pelo ciclone idai e subsequentes inundações**. <http://www.unicef.org.mz/1-milhao-de-criancas-afectadas-pelo-ciclone-idai-e-subsequentes-inundacoes/>>. Acessado em: 27 de mar 2019.

USAID. United States Agency for International Development. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook for Africa: A guide to understanding Water Losses**. Washington DC, 2010.

VICENTINI, L. P. **Componentes do Balanço Hídrico para Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VILLAMAYOR, J.; AMBRIZZI, T.; MOHINO, E. **Influence of decadal sea surface temperature variability on northern Brazil rainfall in CMIP5 simulations**. v. 51, ed. 1-2, Julho 2018, p. 563-579.

VUČIJAK, B.; ČERIĆ, A.; KOLDŽO, D. **Key operational performance indicators for water losses in water utilities Bosnia and Herzegovina**. Reporting for Sustainability 185–189, 2013.

WALSKI, T.; BEZTS, W.; POSLUSZNY, E.T.; WEIR, M.; WHITMAN, B.E. **Modeling leakage reduction through pressure control**. J Am Water Works Assoc, v. 98, p. 147–155, 2006.

WB EASYCALC. **Free Water Balance Software**. 2014. Disponível em: <[www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc)>. Acessado em: 13 dez 2018.

WU, Z. Y; FARLEY, M.; TURTLE, D.; KAPELAN, Z.; BOXALL, J.; MOUNCE, S.; DAHASAHASRA, S.; MULAY, M.; KLEINER, Y. **Water Loss Reduction**. Exton, Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2011.

WYATT, A. **Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**. RTI Press publication No. MR-0018-1006. Research Triangle Park, NC, USA, 2010.

XIN, K.; LI, F.; TAO, T.; XIANG, N.; YIN, Z. **Water losses investigation and evaluation in water distribution system – the case of SA city in China**. Urban Water Journal, 2014. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916313

XU, Q., CHEN, Q., MA, J. **Water Saving and Energy Reduction through Pressure Management in Urban Water Distribution Networks**. Water Resources Management, v. 28, p. 3715-3726, 2014.

YANIV, S. **Reduction of apparent losses using the UFR (unmeasured-flow reducer): Case studies**. Proc., 5th IWA Specialist Conf. on Efficient Water Use and Management, IWA, Hague, Netherlands, 2009.

YAZDEKHASTI, S.; PIRATLA, K.R.; MATTHEWS, J.C.; KHAN, A.; ATAMTURKTUR, S. **Optimal selection of acoustic leak detection techniques for water pipelines using multi-criteria decision analysis**. Management of Environmental Quality: An International Journal, v. 29, p. 255-277, 2018.



APÊNDICE 1 – RESULTADOS

DMC	Perda total	Perdas reais	Perdas aparentes	Volume autorizado total	Perda total	Perdas reais	Perdas aparentes	IPLR 2017	IVI 2017	Categoria de desempenho técnico segundo Liemberger e Mckenzie (2005)	IPLa 2017	IPLr econômico	IVI econômico	Categoria de desempenho técnico segundo Liemberger e Mckenzie (2005)	IPLa econômico	IPV
-	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(L/ligação.dia)	(adimensional)	-	(L/ligação.dia)	(L/ligação.dia)	(adimensional)	-	(L/ligação.dia)	(adimensional)
1	1.352.351	1.169.114	183.237	2.068.325	754.867	581.162	173.705	1.480,8	19,1	D	232,1	736,1	9,5	C	220,0	2,0
2	34.133	19.052	15.081	171.254	27.357	13.515	13.841	696,0	7,3	B	550,9	493,7	5,2	B	505,6	1,4
3	4.551.525	3.931.215	620.310	5.957.619	1.886.165	1.304.190	581.976	1.013,7	25,8	D	160,0	336,3	8,6	C	150,1	3,0
4	3.362.807	2.833.017	529.790	6.218.473	1.383.085	942.287	440.799	905,0	21,9	D	169,2	301,0	7,3	B	140,8	3,0
5	2.533.507	2.366.355	167.152	2.920.090	759.539	603.914	155.625	830,3	27,7	D	58,7	211,9	7,1	B	54,6	3,9
6	736.637	343.954	332.683	3.434.777	458.182	183.632	274.550	482,2	13,0	C	397,2	327,8	5,9	B	327,8	2,2
7	2.477.764	2.080.918	396.846	4.238.521	984.730	620.940	363.790	647,3	22,2	D	123,4	193,1	6,6	B	113,2	3,4
8	702.258	559.113	143.145	1.335.671	359.987	241.085	118.902	579,8	18,9	D	148,4	250,0	8,1	C	123,3	2,3
9	2.721.161	2.123.145	598.016	6.044.328	1.458.590	986.822	471.767	567,8	11,3	C	159,9	263,9	5,2	B	126,2	2,2
10	677.865	395.391	282.474	2.814.364	414.576	196.985	217.591	423,5	12,2	C	302,5	211,0	6,1	B	233,0	2,0
11	1.983.841	1.755.301	228.540	3.068.383	826.381	621.134	205.247	620,6	22,6	D	80,8	219,6	8,0	C	72,6	2,8
12	828.565	731.084	97.481	1.219.557	330.869	244.739	86.130	613,7	19,0	D	81,8	205,4	6,3	B	72,3	3,0
13	405.116	355.615	49.501	638.179	159.302	110.466	48.836	606,7	23,4	D	84,4	188,4	7,3	B	83,3	3,2
14	1.910.902	1.675.146	235.755	2.693.164	767.088	548.366	218.722	580,9	21,4	D	81,7	190,1	7,0	B	75,8	3,1
15	1.159.321	859.672	299.649	3.207.782	733.415	480.932	252.483	484,0	15,4	C	168,7	270,8	8,6	C	142,2	1,8
16	1.981.562	1.166.628	814.934	3.371.060	1.320.121	526.657	793.464	375,8	13,0	C	282,5	169,6	5,9	B	255,6	2,2
17	1.066.193	952.835	113.358	1.395.347	474.976	365.712	109.264	558,8	20,4	D	66,5	214,5	7,8	B	64,1	2,6
18	1.159.341	990.001	169.340	1.841.511	572.258	413.352	158.906	524,6	20,7	D	89,7	219,0	8,6	C	84,2	2,4
19	2.337.177	1.970.422	366.755	3.817.124	1.123.844	789.639	334.205	502,8	17,1	D	93,6	201,5	6,9	B	85,3	2,5
20	938.043	782.599	155.444	1.428.341	532.091	392.611	139.480	458,6	17,3	D	91,1	230,1	8,7	C	81,7	2,0
21	407.760	355.266	52.494	561.711	174.038	123.468	50.570	471,3	18,4	D	69,6	163,8	6,4	B	67,1	2,9
22	740.195	386.657	353.538	1.005.876	570.990	235.191	335.799	271,9	10,2	C	248,6	165,4	6,2	B	236,1	1,6
23	3.323.683	1.787.351	536.332	5.398.024	1.212.462	752.744	459.718	397,9	14,2	C	119,4	167,6	6,0	B	102,3	2,4
24	1.388.352	1.189.049	199.302	1.992.982	645.744	457.793	187.951	425,0	17,7	D	71,2	163,6	6,8	B	67,2	2,6
25	1.003.222	846.815	156.408	1.592.844	576.557	440.862	135.695	418,2	6,2	B	77,2	217,7	3,2	A	67,0	1,9
26	217.367	175.404	41.962	331.426	103.565	69.004	34.561	395,5	12,6	C	94,6	155,6	5,0	B	77,9	2,5
27	954.625	851.975	102.650	1.095.766	638.047	540.481	97.566	434,3	12,4	C	52,3	275,5	7,9	B	49,7	1,6
28	689.692	602.389	87.304	915.917	358.731	274.585	84.146	424,8	17,4	D	61,6	193,6	8,0	B	59,3	2,2
29	629.009	557.974	71.035	746.083	339.174	271.631	67.544	427,4	14,3	C	54,4	208,0	7,0	B	51,7	2,1
30	2.010.564	1.745.590	264.974	2.817.501	1.063.290	830.356	232.934	413,7	7,9	B	62,8	196,8	3,8	A	55,2	2,1
31	736.394	641.370	95.024	1.143.816	332.142	242.300	89.842	409,6	15,0	C	60,7	154,7	5,7	B	57,4	2,6
32	2.106.353	1.826.135	280.219	2.919.728	1.130.067	864.757	265.310	405,9	12,9	C	62,3	192,2	6,1	B	59,0	2,1
33	97.424	82.490	14.934	109.721	54.834	40.420	14.414	395,8	13,6	C	71,7	193,9	6,7	B	69,2	2,0
34	1.758.161	1.459.200	298.961	2.816.912	924.519	643.706	280.813	387,0	14,7	C	79,3	170,7	6,5	B	74,5	2,3
35	4.758.983	3.645.486	1.113.497	9.145.435	2.863.850	1.898.531	965.319	354,4	15,9	C	108,3	184,6	8,3	C	93,9	1,9
36	666.917	572.360	94.557	953.660	414.840	325.184	89.656	396,2	12,5	C	65,5	225,1	7,1	B	62,1	1,8
37	1.271.875	578.339	143.536	728.550	398.187	258.070	140.117	367,7	11,7	C	91,3	164,1	5,2	B	89,1	2,2
38	1.693.877	1.235.173	458.704	4.340.110	1.296.407	869.727	426.680	331,4	8,9	C	123,1	233,4	6,3	B	114,5	1,4
39	891.802	514.444	377.358	2.184.328	662.253	333.162	329.091	254,0	7,6	B	186,3	164,5	4,9	B	162,5	1,5
40	759.895	611.460	148.425	870.220	444.640	301.457	143.183	353,4	10,4	C	85,8	174,2	5,1	B	82,8	2,0
41	140.551	84.962	55.589	458.948	101.502	58.768	42.733	264,5	8,1	C	173,1	183,0	5,6	B	133,0	1,4
42	647.374	552.117	95.257	895.921	391.624	300.386	91.238	369,9	14,3	C	63,8	201,3	7,8	B	61,1	1,8
43	4.197.916	3.008.785	1.189.131	9.564.208	2.534.359	1.479.732	1.054.627	306,3	11,9	C	121,1	150,6	5,9	B	107,4	2,0
44	698.729	599.762	98.967	1.101.623	320.804	225.316	95.488	356,7	14,8	C	58,9	134,0	5,6	B	56,8	2,7
45	399.637	345.504	54.133	553.168	203.973	152.249	51.724	343,3	8,4	C	53,8	151,3	3,7	A	51,4	2,3

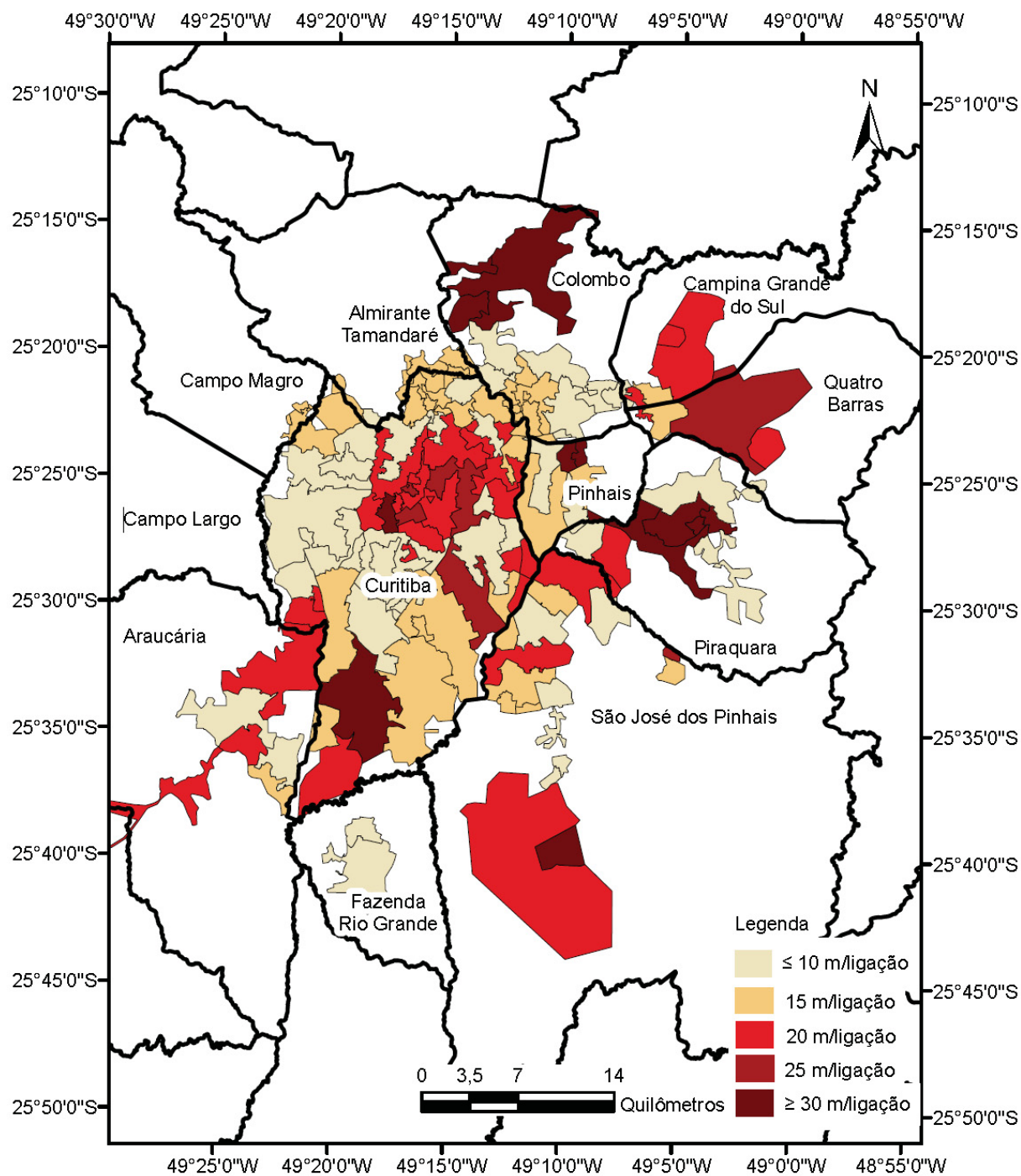


DMC	Perda total	Perdas reais	Perdas aparentes	Volume autorizado total	Perda total	Perdas reais	Perdas aparentes	IPLR 2017 (L/ligação.dia)	IVI 2017 (adimensional)	Categoria de desempenho técnico segundo Liemberger e McKenzie (2005)	IPLa 2017 (L/ligação.dia)	IPLr econômico (L/ligação.dia)	IVI econômico (adimensional)	Categoria de desempenho técnico segundo Liemberger e McKenzie (2005)	IPLa econômico (L/ligação.dia)	IPV (adimensional)
-		(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(L/ligação.dia)	(adimensional)	-	(L/ligação.dia)	(L/ligação.dia)	(adimensional)	-	(L/ligação.dia)	(adimensional)
46	340.709	291.186	49.523	505.071	162.876	115.737	47.139	333,8	14,3	C	56,8	132,7	5,7	B	54,0	2,5
47	888.388	602.896	285.492	2.508.630	662.621	400.841	261.780	259,8	5,7	B	123,0	172,7	3,8	A	112,8	1,5
48	3.515.083	2.731.371	739.371	5.547.246	2.422.126	1.731.220	690.906	299,6	12,0	C	79,8	186,9	7,5	B	74,6	1,6
49	685.358	591.829	93.529	1.069.489	329.370	241.061	88.309	324,7	13,2	C	51,3	132,3	5,4	B	48,5	2,5
50	1.453.171	1.231.480	221.691	2.479.474	780.056	572.014	208.042	315,9	11,8	C	56,9	146,7	5,5	B	53,4	2,2
51	988.338	801.826	166.513	1.679.887	520.153	360.546	159.607	303,3	12,1	C	63,0	136,4	5,4	B	60,4	2,2
52	619.735	505.202	114.533	911.287	504.707	399.700	105.007	297,7	12,0	C	67,5	235,5	9,5	C	61,9	1,3
53	1.314.731	1.106.841	207.890	2.048.700	676.164	483.305	192.859	305,6	6,0	B	57,4	133,5	2,6	A	53,3	2,3
54	864.239	646.930	217.309	1.974.517	498.457	334.955	163.502	271,5	10,0	C	91,2	140,6	5,2	B	68,6	1,9
55	1.889.816	1.611.427	278.389	2.996.533	916.612	668.241	248.371	307,5	7,7	B	53,1	127,5	3,2	A	47,4	2,4
56	266.670	216.541	50.129	393.941	146.191	102.187	44.004	280,1	10,9	C	64,8	132,2	5,1	B	56,9	2,1
57	827.300	691.375	135.925	1.338.406	485.476	357.634	127.842	285,9	11,4	C	56,2	147,9	5,9	B	52,9	1,9
58	434.057	133.959	300.098	2.801.920	361.684	126.235	235.449	103,7	5,0	B	232,3	97,7	4,8	B	182,3	1,1
59	1.427.872	1.164.690	263.182	2.900.074	791.190	554.614	236.576	271,6	9,1	C	61,4	129,3	4,3	B	55,2	2,1
60	1.594.706	1.371.439	223.266	2.359.393	892.369	677.939	214.429	272,3	11,0	C	44,3	134,6	5,5	B	42,6	2,0
61	2.051.299	1.487.088	564.201	5.794.073	1.536.364	1.031.178	505.187	224,9	8,2	C	85,3	156,0	5,7	B	76,4	1,4
62	163.723	127.255	36.467	249.343	107.747	72.580	35.168	240,8	8,6	C	69,0	137,3	4,9	B	66,5	1,8
63	5.356.280	3.975.423	1.380.857	9.191.854	3.247.577	1.985.385	1.262.192	226,7	8,8	C	78,7	113,2	4,4	B	72,0	2,0
64	788.326	581.891	136.434	1.172.804	515.418	388.711	126.707	246,3	9,6	C	57,7	164,5	6,4	B	53,6	1,5
65	280.291	235.613	44.678	359.157	186.431	145.871	40.560	233,8	6,6	B	44,3	144,7	4,1	B	40,2	1,6
66	174.182	138.468	35.714	299.806	126.176	93.300	32.877	213,5	6,7	B	55,1	143,8	4,5	B	50,7	1,5
67	4.113.259	2.832.200	1.281.059	7.385.465	3.533.156	2.347.671	1.185.485	181,1	6,3	B	81,9	150,1	5,3	B	75,8	1,2
68	208.995	151.834	57.161	450.246	131.054	78.778	52.277	188,7	7,8	B	71,0	97,9	4,0	B	65,0	1,9
69	516.954	374.439	142.515	1.278.320	365.551	232.854	132.697	186,4	5,5	B	71,0	115,9	3,4	A	66,1	1,6
70	206.281	152.452	53.829	421.852	140.328	89.940	50.388	189,3	6,9	B	66,8	111,7	4,1	B	62,6	1,7
71	384.059	287.326	96.732	950.955	260.374	169.492	90.882	188,5	7,2	B	63,5	111,2	4,2	B	59,6	1,7
72	961.668	752.494	209.174	1.920.154	671.928	474.359	197.569	194,9	7,3	B	54,2	122,9	4,6	B	51,2	1,6
73	31.414	21.170	10.244	130.618	26.153	15.909	10.244	160,7	3,5	A	77,7	120,7	2,6	A	77,7	1,3
74	249.979	179.969	70.010	516.320	190.107	123.490	66.617	162,9	4,4	B	63,4	111,8	3,0	A	60,3	1,5
75	227.634	160.453	67.181	574.691	133.366	71.158	62.208	157,1	6,1	B	65,8	69,7	2,7	A	60,9	2,3
76	194.117	137.912	56.205	422.724	131.484	79.294	52.189	158,1	6,7	B	64,4	90,9	3,9	A	59,8	1,7
77	575.920	434.680	141.240	1.049.497	437.059	305.383	131.676	166,7	4,5	B	54,2	117,1	3,2	A	50,5	1,4
78	274.753	192.677	82.077	614.090	241.307	165.680	75.627	134,1	4,3	B	57,1	115,3	3,7	A	52,6	1,2
79	607.342	419.940	187.401	1.585.757	458.893	286.714	172.180	130,3	5,4	B	58,1	88,9	3,7	A	53,4	1,5
80	331.856	193.240	138.616	1.100.100	278.505	154.030	124.475	106,1	3,5	A	76,1	84,6	2,8	A	68,4	1,3
81	427.523	302.217	125.306	1.056.936	365.569	245.917	119.652	128,6	4,4	B	53,3	104,7	3,6	A	50,9	1,2
82	85.445	58.221	27.224	172.334	74.349	48.597	25.752	121,7	3,2	A	56,9	101,6	2,6	A	53,8	1,2
83	342.723	239.419	103.305	806.795	273.610	178.391	95.219	124,1	5,0	B	53,5	92,4	3,7	A	49,3	1,3
84	184.087	81.083	103.004	788.843	179.666	82.438	97.228	69,8	2,3	A	88,7	71,0	2,4	A	83,7	1,0
85	1.815.444	891.578	923.866	6.495.485	1.802.600	962.427	840.172	77,2	1,7	A	79,9	83,3	1,9	A	72,7	0,9
86	81.842	29.455	52.386	508.125	75.499	26.113	49.386	56,1	2,5	A	99,8	49,8	2,2	A	94,1	1,1
87	602.819	442.682	160.137	1.267.239	510.766	365.725	145.041	114,4	4,3	B	41,4	94,5	3,6	A	37,5	1,2
88	1.046.547	702.307	344.240	2.265.698	866.016	551.460	314.556	99,6	3,9	A	48,8	78,2	3,0	A	44,6	1,3
89	410.846	226.696	184.151	1.287.602	361.710	222.027	139.683	80,1	2,9	A	65,1	78,4	2,8	A	49,4	1,0
90	56.249	32.983	23.266	162.166	46.153	23.909	22.243	82,1	3,3	A	57,9	59,5	2,4	A	55,4	1,4
91	461.399	284.955	176.444	1.306.029	436.819	277.694	159.125	65,9	2,6	A	40,8	64,2	2,5	A	36,8	1,0
92	20.622	19.172	1.451	146.692	17.572	16.121	1.451	98,5	2,4	A	7,5	82,9	2,0	A	7,5	1,2

	CUSTOS							RETORNO, INVESTIMENTO E ECONOMIA DE PERDAS REAIS			RETORNO, INVESTIMENTO E ECONOMIA DE PERDAS REAIS			
DMC	Custo de produção de água 2017	Custo de controle de perdas reais 2017	Custo de capital para aumento da capacidade 2017	Custo total 2017	Custo de produção de água econômico	Custo de controle de perdas reais econômico	Custo de capital para aumento da capacidade econômico	Custo total econômico	Economia R	Investimento R	Retorno R	Economia A	Investimento A	Retorno A
-	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)	(R\$/ano)
1	540.599	103.474	54.139	698.212	268.730	229.914	7.224	505.868	318.784	126.440	2,5	44.229	78.407	0,6
2	8.810	5.468	10.239	24.516	6.249	8.243	8.597	23.090	4.202	2.776	1,5	5.752	1.589	3,6
3	1.817.794	148.502	103.262	2.069.558	603.057	506.000	2.299	1.111.357	1.315.699	357.498	3,7	177.870	80.875	2,2
4	1.309.987	91.627	119.780	1.521.394	435.713	332.489	12.666	780.868	981.388	240.861	4,1	412.920	99.414	4,2
5	1.094.203	43.752	45.537	1.183.491	279.250	213.464	23	492.737	860.467	169.713	5,1	53.485	62.033	0,9
6	186.788	27.500	94.759	309.047	84.911	73.378	66.255	224.544	130.381	45.878	2,8	269.737	51.509	5,2
7	962.216	43.936	87.606	1.093.758	287.123	197.788	6.297	491.208	756.402	153.852	4,9	153.381	68.545	2,2
8	258.534	23.597	40.859	322.989	111.478	73.338	8.369	193.185	179.546	49.741	3,6	112.487	26.750	4,2
9	981.742	132.161	131.119	1.245.022	456.307	347.238	39.616	843.161	616.939	215.077	2,9	585.796	115.413	5,1
10	182.829	36.375	81.067	300.270	91.086	87.017	54.517	232.619	118.293	50.642	2,3	301.057	43.730	6,9
11	811.651	63.592	65.663	940.906	287.213	220.895	3.257	511.364	586.845	157.303	3,7	108.082	71.437	1,5
12	338.053	24.825	31.966	394.845	113.167	87.874	1.106	202.148	255.746	63.049	4,1	52.667	47.149	1,1
13	164.437	10.461	20.117	195.015	51.080	39.976	867	91.923	132.606	29.515	4,5	3.088	13.745	0,2
14	774.588	56.771	57.325	888.684	253.564	204.301	1.603	459.469	576.745	147.530	3,9	79.032	63.801	1,2
15	397.512	83.066	31.132	511.711	222.383	173.244	15.515	411.141	190.747	90.177	2,1	218.850	62.709	3,5
16	539.449	69.632	95.482	704.563	243.526	193.567	34.126	471.220	357.279	123.936	2,9	99.622	73.900	1,3
17	440.591	12.014	34.797	487.402	169.105	64.859	926	234.890	305.357	52.845	5,8	18.993	36.155	0,5
18	457.776	20.173	48.381	526.331	191.134	87.369	4.875	283.378	310.148	67.196	4,6	48.416	58.118	0,8
19	911.123	88.746	83.989	1.083.858	365.129	274.027	8.831	647.987	621.152	185.281	3,4	151.029	85.440	1,8
20	361.874	61.365	41.967	465.206	181.543	145.210	6.428	333.181	215.869	83.845	2,6	74.076	39.903	1,9
21	164.275	12.012	17.982	194.269	57.092	42.418	570	100.080	124.596	30.406	4,1	8.928	15.780	0,6
22	178.790	51.768	42.297	272.855	108.752	98.492	20.565	227.810	91.770	46.725	2,0	82.311	31.469	2,6
23	826.471	98.045	120.807	1.045.323	348.069	285.178	35.826	669.073	563.382	187.133	3,0	355.490	121.264	2,9
24	549.816	42.027	49.040	640.883	211.683	141.966	2.813	356.463	384.359	99.939	3,8	52.669	57.089	0,9
25	391.567	36.053	45.779	473.398	203.855	103.013	8.041	314.909	225.450	66.961	3,4	96.109	44.149	2,2
26	81.107	7.625	13.499	102.231	31.907	23.750	1.323	56.981	61.376	16.125	3,8	34.343	9.184	3,7
27	393.953	48.878	33.778	476.610	249.918	112.756	4.564	367.238	173.249	63.877	2,7	23.590	39.219	0,6
28	278.545	21.375	27.558	327.478	126.968	69.774	1.739	198.481	177.395	48.399	3,7	14.650	30.250	0,5
29	258.007	36.379	22.968	317.354	125.602	90.162	1.059	216.822	154.315	53.783	2,9	16.200	24.221	0,7
30	807.161	76.876	65.565	949.601	383.957	226.724	5.779	616.459	482.991	149.848	3,2	148.666	92.735	1,6
31	296.569	26.501	32.411	355.482	112.039	85.973	2.158	200.170	214.784	59.472	3,6	24.045	34.620	0,7
32	844.405	31.952	67.592	943.949	399.864	134.514	5.834	540.212	506.299	102.562	4,9	69.175	102.759	0,7
33	38.143	5.576	5.691	49.411	18.690	13.857	312	32.859	24.832	8.281	3,0	2.416	3.912	0,6
34	674.734	76.165	68.923	819.822	297.650	217.093	9.100	523.843	436.907	140.928	3,1	84.207	84.925	1,0
35	1.685.673	358.233	182.556	2.226.462	877.881	757.662	55.897	1.691.440	934.451	399.429	2,3	687.550	210.593	3,3
36	264.659	59.912	31.285	355.856	150.365	120.274	5.386	276.025	140.193	60.362	2,3	22.740	32.413	0,7
37	287.424	29.500	23.655	320.579	119.331	82.851	864	203.047	170.883	53.351	3,2	15.863	24.968	0,6
38	571.144	196.421	112.793	880.358	402.162	315.534	70.462	788.157	211.314	119.112	1,8	148.591	79.678	1,9
39	237.879	70.208	70.050	378.137	154.054	129.074	45.094	328.222	108.781	58.866	1,8	223.959	54.138	4,1
40	282.739	39.176	28.510	350.424	139.394	98.343	2.347	240.084	169.508	59.168	2,9	24.325	31.459	0,8
41	39.286	10.775	21.254	71.316	27.174	20.296	15.556	63.026	17.811	9.520	1,9	59.652	10.706	5,6
42	255.299	23.412	29.478	308.188	138.899	65.902	4.238	209.039	141.640	42.491	3,3	18.647	31.583	0,6
43	1.391.262	230.830	194.316	1.816.408	684.228	558.684	74.911	1.317.823	826.439	327.854	2,5	624.100	210.977	3,0
44	277.330	21.632	32.063	331.026	104.186	74.242	2.432	180.860	202.776	52.610	3,9	16.141	35.316	0,5
45	159.761	13.980	19.076	192.817	70.400	44.431	1.334	116.165	107.103	30.451	3,5	11.179	20.746	0,5
46	134.644	9.151	17.850	161.645	53.517	32.205	1.275	86.997	97.702	23.054	4,2	11.065	17.399	0,6

	CUSTOS								RETORNO, INVESTIMENTO E ECONOMIA DE PERDAS REAIS			RETORNO, INVESTIMENTO E ECONOMIA DE PERDAS REAIS		
DMC	Custo de produção de água 2017	Custo de controle de perdas reais 2017	Custo de capital para aumento da capacidade 2017	Custo total 2017	Custo de produção de água econômico	Custo de controle de perdas reais econômico	Custo de capital para aumento da capacidade econômico	Custo total econômico	Economia R	Investimento R	Retorno R	Economia A	Investimento A	Retorno A
47	278.779	61.002	75.307	415.089	185.349	121.931	48.221	355.500	120.516	60.928	2,0	110.023	47.437	2,3
48	1.283.489	406.501	127.702	1.817.692	800.516	705.350	40.859	1.546.725	569.816	298.849	1,9	224.878	141.489	1,6
49	273.662	27.002	31.605	332.269	111.467	83.026	2.692	197.185	191.108	56.024	3,4	24.219	39.192	0,6
50	569.436	78.694	63.082	711.212	264.499	205.120	9.993	479.612	358.026	126.426	2,8	63.334	87.750	0,7
51	370.764	37.356	47.728	455.849	166.716	109.637	7.982	284.336	243.794	72.281	3,4	32.043	55.248	0,6
52	233.605	26.503	12.479	272.588	184.821	53.399	6.473	244.694	54.790	26.896	2,0	44.202	39.932	1,1
53	511.803	30.001	53.252	595.056	223.480	109.306	5.998	338.784	335.577	79.306	4,2	69.743	73.197	1,0
54	299.141	48.475	58.308	405.924	154.883	118.636	22.146	295.665	180.420	70.161	2,6	249.664	44.360	5,6
55	745.124	44.201	69.364	858.689	308.995	168.843	6.803	484.641	498.690	124.642	4,0	139.282	103.243	1,3
56	100.129	13.550	129.604	47.251	34.893	34.893	2.150	84.294	66.653	21.343	3,1	28.418	16.043	1,8
57	319.692	35.919	40.750	396.361	165.370	96.493	7.672	269.535	187.400	60.573	3,1	37.504	50.012	0,7
58	61.943	28.661	85.239	175.842	58.371	33.148	84.016	175.535	4.794	4.487	1,1	299.973	48.818	6,1
59	538.552	59.899	74.386	672.838	256.453	170.774	18.935	446.163	337.550	110.875	3,0	123.453	94.988	1,3
60	634.154	38.622	59.603	732.379	313.479	136.901	7.373	457.753	372.904	98.279	3,8	41.003	85.411	0,5
61	687.634	269.974	139.505	1.097.113	476.816	432.761	89.656	999.233	260.666	162.786	1,6	273.825	174.971	1,6
62	58.843	12.213	12.321	83.377	33.561	25.742	3.201	62.503	34.403	13.529	2,5	6.030	10.211	0,6
63	1.838.236	270.589	184.194	2.293.018	918.042	670.177	48.604	1.636.823	1.055.784	399.588	2,6	550.603	318.552	1,7
64	269.067	38.524	40.041	347.632	179.740	86.275	14.887	280.902	114.481	47.751	2,4	45.134	47.248	1,0
65	108.947	22.053	15.420	146.421	67.451	45.172	2.990	115.612	53.927	23.119	2,3	19.105	13.809	1,4
66	64.027	8.025	14.574	86.627	43.142	19.058	5.984	68.183	29.476	11.032	2,7	13.166	12.679	1,0
67	1.309.609	745.286	177.996	2.232.892	1.085.563	948.820	126.752	2.161.136	275.290	203.534	1,4	443.461	221.521	2,0
68	70.208	10.976	19.692	100.876	36.427	27.292	7.510	71.229	45.963	16.316	2,8	22.664	16.468	1,4
69	173.141	23.597	44.392	241.129	107.672	58.447	23.595	189.715	86.265	34.851	2,5	45.555	40.664	1,1
70	70.494	16.433	19.009	105.936	41.588	33.704	8.008	83.300	39.907	17.271	2,3	15.969	17.629	0,9
71	132.860	27.660	34.982	195.502	78.373	58.568	16.983	153.924	72.486	30.908	2,3	27.145	34.524	0,8
72	303.932	74.183	58.632	436.748	191.594	141.944	24.892	358.430	146.078	67.761	2,2	53.848	81.407	0,7
73	9.789	4.725	8.295	22.809	7.356	7.428	6.657	21.442	4.070	2.703	1,5	0	4.465	0,0
74	83.218	21.350	22.941	127.509	57.102	38.439	12.491	108.032	36.566	17.088	2,1	15.745	21.109	0,7
75	74.193	4.237	23.629	102.060	32.903	16.079	9.379	58.361	55.540	11.842	4,7	23.076	22.326	1,0
76	63.771	9.175	19.237	92.183	36.666	22.742	8.662	68.070	37.680	13.567	2,8	18.630	18.145	1,0
77	200.996	44.727	38.554	284.277	141.209	82.369	19.212	242.790	79.128	37.641	2,1	44.379	52.205	0,9
78	89.094	44.390	27.264	160.748	76.610	58.118	21.644	156.373	18.103	13.728	1,3	29.928	29.288	1,0
79	194.180	37.545	19.263	250.988	132.576	74.205	12.104	218.885	68.763	36.660	1,9	70.628	65.198	1,1
80	89.354	29.701	42.168	161.223	71.224	46.335	34.961	152.519	25.338	16.634	1,5	65.614	41.724	1,6
81	139.745	60.637	40.419	240.802	113.712	84.848	30.403	228.963	36.049	24.211	1,5	26.235	48.853	0,5
82	26.922	12.356	10.617	49.895	22.471	17.075	7.950	47.496	7.118	4.719	1,5	6.830	8.949	0,8
83	110.707	29.541	32.598	172.846	82.488	51.353	21.608	155.449	39.209	21.812	1,8	37.520	39.083	1,0
84	37.493	20.876	33.939	92.307	38.120	19.877	34.234	92.230	-922	-999	0,9	26.803	20.343	1,3
85	412.266	223.255	166.649	802.170	445.026	128.608	169.716	800.168	-42.043	-94.646	0,4	388.339	233.979	1,7
86	13.620	6.351	23.841	43.812	12.075	8.640	23.040	43.754	2.347	2.289	1,0	13.919	14.293	1,0
87	204.696	72.950	46.109	323.755	169.111	104.926	33.263	307.300	48.431	31.976	1,5	70.048	68.462	1,0
88	324.747	42.028	72.230	439.005	254.995	86.656	50.806	392.457	91.175	44.627	2,0	137.734	120.277	1,1
89	104.824	61.743	48.351	214.919	102.665	64.740	47.461	214.866	3.050	2.997	1,0	206.329	56.912	3,6
90	15.251	1.253	10.058	26.563	11.056	3.498	7.501	22.055	6.752	2.244	3,0	4.746	7.923	0,6
91	131.763	50.877	49.248	231.888	128.406	55.054	47.877	231.337	4.728	4.177	1,1	80.358	72.887	1,1
92	8.865	4.725	8.726	22.317	7.455	6.501	7.746	21.702	2.390	1.776	1,3	0	6.321	0,0

## APÊNDICE 2 – RELAÇÃO DE EXTENSÃO DE REDE POR LIGAÇÃO (M/LIGAÇÃO) NO SAIC



**APÊNDICE 3 – AMOSTRAS COM 46 DMCS SELECIONADOS ALEATORIAMENTE DO SAIC**

Aleatório 1			Aleatório 2			Aleatório 3		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)
2	1,4	19,0	5	3,9	88,5	2	1,4	19,0
7	3,4	68,4	10	2,1	26,4	5	3,9	88,5
8	2,3	49,1	13	3,2	64,2	7	3,4	68,4
10	2,1	26,4	16	2,2	27,4	9	2,2	39,2
11	2,8	55,4	17	2,6	54,0	11	2,8	55,4
12	3,0	59,0	19	2,5	40,6	14	3,1	54,3
14	3,1	54,3	20	2,0	28,2	15	1,8	20,7
15	1,8	20,7	22	1,6	11,6	16	2,2	27,4
16	2,2	27,4	23	2,4	30,6	19	2,5	40,6
17	2,6	54,0	24	2,6	37,1	27	1,6	20,3
18	2,4	47,0	28	2,2	33,2	28	2,2	33,2
19	2,5	40,6	30	2,1	28,8	29	2,1	28,1
20	2,0	28,2	31	2,6	36,2	31	2,6	36,2
21	2,9	45,6	32	2,1	32,8	32	2,1	32,8
22	1,6	11,6	33	2,0	29,0	35	1,9	19,0
23	2,4	30,6	36	1,8	20,2	37	2,2	27,3
24	2,6	37,1	37	2,2	27,3	40	2,0	23,3
28	2,2	33,2	39	1,5	9,0	41	1,4	9,4
29	2,1	28,1	40	2,0	23,3	42	1,8	24,2
30	2,1	28,8	42	1,8	24,2	47	1,5	9,4
32	2,1	32,8	43	2,1	18,5	49	2,5	27,1
34	2,3	28,6	45	2,3	27,8	50	2,2	21,7
38	1,4	9,0	46	2,5	31,2	52	1,3	6,0

Aleatório 1			Aleatório 2			Aleatório 3		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)
43	2,1	18,5	47	1,5	9,4	53	2,3	25,8
51	2,2	23,7	48	1,6	10,7	54	1,9	16,9
52	1,3	6,0	50	2,2	21,7	57	1,9	19,1
55	2,4	26,1	53	2,3	25,8	59	2,1	19,3
57	1,9	19,1	54	1,9	16,9	60	2,0	19,9
58	1,1	0,1	56	2,1	21,4	62	1,8	14,4
61	1,4	5,4	61	1,4	5,4	67	1,1	1,5
62	1,8	14,4	62	1,8	14,4	69	1,6	9,3
63	2,1	13,7	63	2,1	13,7	70	1,7	10,3
64	1,5	10,3	64	1,5	10,3	71	1,7	10,0
65	1,6	11,2	66	1,5	10,4	72	1,6	7,4
67	1,1	1,5	69	1,6	9,3	75	2,3	15,6
68	1,9	13,4	70	1,7	10,3	77	1,4	5,8
74	1,5	6,4	71	1,7	10,0	79	1,5	3,6
76	1,7	10,1	72	1,6	7,4	80	1,3	1,7
78	1,2	1,1	73	1,3	3,8	81	1,2	1,8
82	1,2	1,8	74	1,5	6,4	82	1,2	1,8
83	1,3	3,3	75	2,3	15,6	83	1,3	3,3
85	1,0	0,1	77	1,4	5,8	85	1,0	0,1
86	1,1	0,0	84	1,0	0,0	86	1,1	0,0
87	1,2	1,6	86	1,1	0,0	88	1,3	2,4
90	1,4	4,1	88	1,3	2,4	90	1,4	4,1
91	1,0	0,0	91	1,0	0,0	92	1,2	1,2

Aleatório 4				Aleatório 5		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	
2	1,4	19,0	2	1,4	19,0	
5	3,9	88,5	6	2,2	36,8	
6	2,2	36,8	7	3,4	68,4	
8	2,3	49,1	8	2,3	49,1	
11	2,8	55,4	9	2,2	39,2	
13	3,2	64,2	10	2,1	26,4	
14	3,1	54,3	11	2,8	55,4	
15	1,8	20,7	13	3,2	64,2	
16	2,2	27,4	14	3,1	54,3	
17	2,6	54,0	15	1,8	20,7	
18	2,4	47,0	16	2,2	27,4	
20	2,0	28,2	17	2,6	54,0	
22	1,6	11,6	18	2,4	47,0	
24	2,6	37,1	20	2,0	28,2	
25	1,9	28,6	21	2,9	45,6	
26	2,5	37,2	29	2,1	28,1	
27	1,6	20,3	32	2,1	32,8	
28	2,2	33,2	33	2,0	29,0	
31	2,6	36,2	38	1,4	9,0	
34	2,3	28,6	40	2,0	23,3	
36	1,8	20,2	44	2,7	32,6	
38	1,4	9,0	49	2,5	27,1	
39	1,5	9,0	50	2,2	21,7	
41	1,4	9,4	54	1,9	16,9	
43	2,1	18,5	55	2,4	26,1	



Aleatório 4				Aleatório 5		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	
46	2,5	31,2	56	2,1	21,4	
47	1,5	9,4	59	2,1	19,3	
50	2,2	21,7	60	2,0	19,9	
51	2,2	23,7	62	1,8	14,4	
52	1,3	6,0	64	1,5	10,3	
55	2,4	26,1	65	1,6	11,2	
56	2,1	21,4	69	1,6	9,3	
59	2,1	19,3	70	1,7	10,3	
60	2,0	19,9	72	1,6	7,4	
68	1,9	13,4	73	1,3	3,8	
69	1,6	9,3	74	1,5	6,4	
71	1,7	10,0	75	2,3	15,6	
74	1,5	6,4	76	1,7	10,1	
76	1,7	10,1	77	1,4	5,8	
77	1,4	5,8	78	1,2	1,1	
80	1,3	1,7	80	1,3	1,7	
86	1,1	0,0	83	1,3	3,3	
87	1,2	1,6	87	1,2	1,6	
88	1,3	2,4	88	1,3	2,4	
90	1,4	4,1	90	1,4	4,1	
92	1,2	1,2	92	1,2	1,2	

**APÊNDICE 4 – AMOSTRAS COM 23 DMCS SELECIONADOS ALEATORIAMENTE DO SAIC**

Aleatório 6			Aleatório 7			Aleatório 8		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)
32	32,8	2,1	61	5,4	1,4	36	20,2	1,8
65	11,2	1,6	8	49,1	2,3	84	0,0	1,0
49	27,1	2,5	70	10,3	1,7	55	26,1	2,4
79	3,6	1,5	9	39,2	2,2	72	7,4	1,6
53	25,8	2,3	89	0,0	1,0	64	10,3	1,5
29	28,1	2,1	76	10,1	1,7	91	0,0	1,0
27	20,3	1,6	72	7,4	1,6	31	36,2	2,6
87	1,6	1,2	36	20,2	1,8	75	15,6	2,3
90	4,1	1,4	34	28,6	2,3	70	10,3	1,7
81	1,8	1,2	6	36,8	2,2	16	27,4	2,2
75	15,6	2,3	30	28,8	2,1	34	28,6	2,3
16	27,4	2,2	38	9,0	1,4	29	28,1	2,1
8	49,1	2,3	16	27,4	2,2	92	1,2	1,2
7	68,4	3,4	73	3,8	1,3	51	23,7	2,2
83	3,3	1,3	35	19,0	1,9	24	37,1	2,6
69	9,3	1,6	63	13,7	2,1	20	28,2	2,0
72	7,4	1,6	53	25,8	2,3	9	39,2	2,2
58	0,1	1,1	82	1,8	1,2	11	55,4	2,8
73	3,8	1,3	29	28,1	2,1	46	31,2	2,5
80	1,7	1,3	13	64,2	3,2	87	1,6	1,2
6	36,8	2,2	62	14,4	1,8	49	27,1	2,5
59	19,3	2,1	43	18,5	2,1	85	0,1	1,0
44	32,6	2,7	37	27,3	2,2	62	14,4	1,8

Aleatório 9			Aleatório 10		
DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)	DMC	ÍNDICE DE POTENCIAL REDUÇÃO DE VAZAMENTOS (IPV) (adimensional)	REDUÇÃO DO CUSTO TOTAL POR LIGAÇÃO (R\$/ligação.ano)
14	54,3	3,0	50	21,7	2,2
12	59,0	3,0	66	10,4	1,5
16	27,4	2,2	90	4,1	1,4
13	64,2	3,2	58	0,1	1,1
90	4,1	1,4	11	55,4	2,8
45	27,8	2,3	85	0,1	1,0
38	9,0	1,4	17	54,0	2,6
41	9,4	1,4	64	10,3	1,5
5	88,5	3,9	7	68,4	3,4
27	20,3	1,6	54	16,9	1,9
57	19,1	1,9	70	10,3	1,7
9	39,2	2,2	80	1,7	1,3
84	0,0	1,0	24	37,1	2,6
42	24,2	1,8	6	36,8	2,2
59	19,3	2,1	46	31,2	2,5
87	1,6	1,2	15	20,7	1,8
17	54,0	2,6	87	1,6	1,2
31	36,2	2,6	44	32,6	2,7
6	36,8	2,2	34	28,6	2,3
69	9,3	1,6	20	28,2	2,0
30	28,8	2,1	42	24,2	1,8
54	16,9	1,9	61	5,4	1,4

ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA

DMC	Número de ligações de água - N - (ligação)	Extensão de rede de distribuição - (m)	Extensão de rede de distribuição pelo número de ligações de água (Ln/N)	Pressão Média - P (mca)	Consumo diário por ligação - c x p (m³/ligação.dia)	Extensão da rede por ligação - D (km/ligação)	Coefficiente alfa - α (m³/km.dia)	Coefficiente beta - β (m³/km.dia.ano)	tarifa média (R\$/m³)	Volume de entrada no sistema (m³/ano)	Volume medido faturado (m³/ano)	Volume não medido faturado (m³/ano)	Volume medido não faturado (m³/ano)	Volume não medido não faturado (m³/ano)	Volume autorizado faturado (m³/ano)	Volume autorizado não faturado (m³/ano)	Volume autorizado total (m³/ano)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	2.163	214.931	99	30	2,10	0,0994	1,27	13,63	4,64	2.823.192	1.470.401	0	96	440	1.470.305	536	1.470.841
2	75	8.010	107	35	6,56	0,1068	0,89	5,62	4,64	198.611	164.478	0	0	0	164.478	0	164.478
3	10.625	301.019	28	30	1,01	0,0283	1,94	33,73	4,64	7.843.784	3.291.059	0	36	1.200	3.291.023	1.236	3.292.259
4	8.576	181.085	21	35	1,52	0,0211	3,37	39,25	4,64	7.601.558	4.237.281	0	18.708	1.470	4.218.573	20.178	4.238.751
5	7.808	85.648	11	30	0,46	0,0110	4,78	70,37	4,64	3.679.629	1.145.322	0	120	800	1.145.202	920	1.146.122
6	2.295	55.659	24	30	4,17	0,0243	2,54	17,14	4,64	3.892.959	3.156.012	0	0	310	3.156.012	310	3.156.322
7	8.808	84.210	10	30	0,98	0,0096	6,64	61,06	4,64	5.223.251	2.744.297	0	1.380	1.190	2.742.917	2.570	2.745.487
8	2.642	49.614	19	27	1,18	0,0188	4,98	25,89	4,64	1.695.658	992.300	0	24	1.100	992.276	1.124	993.400
9	10.244	261.017	25	40	1,44	0,0255	3,03	19,26	4,64	7.502.918	4.780.097	0	744	1.660	4.779.353	2.404	4.781.757
10	2.558	83.121	32	25	3,03	0,0325	1,80	11,24	4,64	3.228.939	2.550.525	0	0	550	2.550.525	550	2.551.075
11	7.749	127.668	16	25	0,76	0,0165	3,49	34,18	4,64	3.894.764	1.909.993	0	28.548	930	1.881.445	29.478	1.910.923
12	3.264	50.648	16	30	0,69	0,0155	2,88	36,20	4,64	1.550.426	721.671	0	0	190	721.671	190	721.861
13	1.606	21.279	13	25	0,75	0,0132	3,04	38,48	4,64	797.480	392.244	0	0	120	392.244	120	392.364
14	7.901	125.750	16	25	0,62	0,0159	2,50	30,60	4,64	3.460.253	1.548.801	0	36	550	1.548.765	586	1.549.351
15	4.866	109.633	23	26	1,74	0,0225	3,30	30,68	4,64	3.941.197	2.779.876	0	0	2.000	2.779.876	2.000	2.781.876
16	8.506	169.139	20	25	1,14	0,0199	2,71	14,70	4,64	4.691.181	2.707.679	0	298.776	1.940	2.408.903	300.716	2.709.619
17	4.672	76.208	16	25	0,54	0,0163	8,35	5,98	4,64	1.870.323	803.480	0	113.960	650	689.520	114.610	804.130
18	5.170	61.519	12	25	0,75	0,0119	10,70	22,05	4,64	2.413.769	1.253.408	0	13.752	1.020	1.239.656	14.772	1.254.428
19	10.736	224.042	21	25	0,76	0,0209	2,74	16,52	4,64	4.940.968	2.601.561	0	14.568	2.230	2.586.993	16.798	2.603.791
20	4.675	67.237	14	25	0,69	0,0144	4,37	55,04	4,64	1.960.432	1.021.339	0	204	1.050	1.021.135	1.254	1.022.389
21	2.065	25.587	12	25	0,50	0,0124	3,42	31,16	4,64	735.749	327.739	0	180	250	327.559	430	327.989
22	3.896	67.421	17	24	0,84	0,0173	2,74	23,23	4,64	1.576.866	835.951	0	0	720	835.951	720	836.671
23	12.308	217.669	18	25	1,07	0,0177	2,65	19,85	4,64	6.610.485	4.285.022	0	1.464	1.780	4.283.558	3.244	4.286.802
24	7.665	68.005	9	25	0,52	0,0089	6,05	41,85	4,64	2.638.726	1.249.245	0	0	1.130	1.249.245	1.130	1.250.375
25	5.548	101.524	18	60	0,65	0,0183	6,00	11,80	4,64	2.169.401	1.165.779	0	228	400	1.165.551	628	1.166.179
26	1.215	16.544	14	30	0,59	0,0136	3,09	23,53	4,64	434.991	217.594	0	0	30	217.594	30	217.624
27	5.375	179.943	33	25	0,45	0,0335	4,60	4,19	4,64	1.733.813	777.968	0	1.404	1.220	776.564	2.624	779.188
28	3.885	37.613	10	25	0,47	0,0097	9,46	34,78	4,64	1.274.648	584.396	0	0	560	584.396	560	584.956
29	3.577	78.479	22	25	0,40	0,0219	2,72	15,08	4,64	1.085.257	455.338	0	0	910	455.338	910	456.248
30	11.559	155.066	13	50	0,51	0,0134	6,38	24,46	4,64	3.880.791	1.869.247	0	74.220	980	1.795.027	75.200	1.870.227
31	4.290	70.061	16	25	0,53	0,0163	2,52	16,10	4,64	1.475.958	739.194	0	0	370	739.194	370	739.564
32	12.325	168.587	14	30	0,49	0,0137	9,19	5,69	4,64	4.049.795	1.942.242	0	32.592	1.200	1.909.650	33.792	1.943.442
33	571	11.600	20	25	0,39	0,0203	2,86	14,96	4,64	164.555	67.041	0	0	90	67.041	90	67.131
34	10.331	146.659	14	25	0,61	0,0142	3,79	23,47	4,64	3.741.431	1.981.931	0	672	1.340	1.981.259	2.012	1.983.271
35	28.178	404.790	14	21	0,81	0,0144	2,25	44,87	4,64	12.009.285	7.246.782	0	0	3.520	7.246.782	3.520	7.250.302
36	3.958	57.195	14	30	0,55	0,0145	3,83	50,12	4,64	1.368.500	701.063	0	0	520	701.063	520	701.583
37	4.309	59.962	14	30	0,35	0,0139	3,70	22,74	4,64	1.126.737	404.022	0	0	840	404.022	840	404.862
38	10.211	392.285	38	25	1,18	0,0384	1,87	6,76	4,64	5.636.517	3.938.940	0	12	3.700	3.938.928	3.712	3.942.640
39	5.549	123.678	22	28	1,15	0,0223	2,59	11,38	4,64	2.846.581	1.953.579	0	0	1.200	1.953.579	1.200	1.954.779
40	4.740	86.388	18	30	0,41	0,0182	3,05	14,71	4,64	1.314.860	554.455	0	24	520	554.431	544	554.975
41	880	24.726	28	25	1,48	0,0281	3,23	4,33	4,64	560.450	419.379	0	312	520	419.067	832	419.899
42	4.089	53.688	13	25	0,49	0,0131	8,25	13,95	4,64	1.287.545	639.451	0	0	720	639.451	720	640.171
43	26.913	395.687	15	24	0,93	0,0147	2,79	22,74	4,64	12.098.567	7.896.681	0	0	3.970	7.896.681	3.970	7.900.651
44	4.606	42.453	9	25	0,49	0,0092	4,60	34,10	4,64	1.422.427	723.208	0	348	490	722.860	838	723.698
45	2.757	34.232	12	40	0,41	0,0124	5,08	18,05	4,64	757.140	357.363	0	0	140	357.363	140	357.503
46	2.390	17.720	7	25	0,43	0,0074	7,13	36,35	4,64	667.947	326.918	0	54.708	320	272.210	55.028	327.238

DMC	Número de ligações de água - N	Extensão de rede de distribuição - (m)	Extensão de rede de distribuição pelo número de ligações de água (Lm/N)	Pressão Média - P	Consumo diário por ligação - c x p	Extensão da rede por ligação - D	Coefficiente alfa - α	Coefficiente beta - β	tarifa média	Volume de entrada no sistema	Volume medido faturado	Volume não medido faturado	Volume não medido não faturado	Volume autorizado faturado	Volume autorizado não faturado	Volume autorizado total
-	(ligação)	(m)	(m/ligação)	(mca)	(m³/ligação.dia)	km/ligação	m³/km.dia	m³/km.dia/ano	R\$/m²	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
47	6.358	120.200	19	40	1,11	0,0189	4,53	9,20	4,64	3.171.251	2.282.053	0	0	810	2.282.053	810
48	25.379	280.477	11	25	0,56	0,0111	3,03	69,09	4,64	7.963.372	4.451.619	0	0	2.670	4.451.619	2.670
49	4.993	50.591	10	25	0,44	0,0101	3,90	27,82	4,64	1.398.859	713.011	0	0	490	713.011	490
50	10.682	163.174	15	25	0,52	0,0153	2,71	17,96	4,64	3.259.530	1.805.719	0	84	640	1.805.635	724
51	7.243	81.194	11	25	0,53	0,0112	4,47	20,33	4,64	2.200.039	1.159.271	0	113.088	72.430	1.046.183	1.231.701
52	4.649	50.703	11	25	0,54	0,0109	15,98	10,05	4,64	1.415.994	794.029	0	12	2.230	794.017	2.242
53	9.922	120.515	12	50	0,45	0,0121	5,62	9,73	4,64	2.724.864	1.409.663	0	300	470	1.409.363	770
54	6.528	103.051	16	25	0,77	0,0158	3,17	12,62	4,64	2.472.973	1.607.844	0	28.668	890	1.579.176	29.558
55	14.355	276.314	19	35	0,44	0,0192	3,31	4,58	4,64	3.913.145	2.021.229	0	54.936	2.100	1.966.293	57.036
56	2.118	26.971	13	25	0,42	0,0127	3,01	19,01	4,64	540.132	273.332	0	0	130	273.332	130
57	6.626	75.553	11	25	0,47	0,0114	5,79	18,58	4,64	1.823.882	994.452	0	60	2.130	994.392	2.190
58	3.539	67.026	19	18	2,35	0,0189	3,14	2,33	4,64	3.163.604	2.728.247	0	264	1.300	2.727.983	1.564
59	11.750	130.270	11	30	0,59	0,0111	4,73	17,79	4,64	3.691.264	2.262.422	0	192	970	2.262.230	1.162
60	13.798	142.799	10	25	0,37	0,0103	7,78	9,64	4,64	3.251.762	1.655.596	0	3.576	1.460	1.652.020	5036
61	18.112	296.187	16	25	0,88	0,0164	2,54	22,42	4,64	7.330.437	5.277.909	0	19.908	1.230	5.258.001	21.138
62	1.448	26.145	18	25	0,43	0,0181	2,43	9,81	4,64	357.091	193.228	0	0	140	193.228	140
63	48.043	506.667	11	26	0,48	0,0105	3,45	20,28	4,64	12.439.431	7.078.991	0	0	4.160	7.078.991	4.160
64	6.474	81.313	13	25	0,47	0,0126	7,85	10,58	4,64	1.688.222	969.176	0	30.756	720	938.420	31.476
65	2.761	59.560	22	30	0,31	0,0216	2,77	5,65	4,64	545.588	284.917	0	0	380	264.917	380
66	1.777	26.099	15	30	0,44	0,0147	6,34	5,02	4,64	425.983	251.691	0	60	110	251.631	170
67	42.838	522.176	12	28	0,52	0,0122	3,01	36,01	4,64	10.918.621	6.801.422	0	0	3.940	6.801.422	3.940
68	2.205	20.850	9	25	0,53	0,0095	3,89	16,17	4,64	581.300	372.175	0	0	130	372.175	130
69	5.503	101.636	18	30	0,63	0,0185	3,69	3,12	4,64	1.643.872	1.125.798	0	44.472	1.120	1.081.326	45.592
70	2.207	35.992	16	25	0,51	0,0163	2,32	8,36	4,64	562.180	355.749	0	5.520	150	350.229	5.670
71	4.176	58.774	14	25	0,61	0,0141	2,99	9,37	4,64	1.211.329	826.830	0	12	440	826.818	452
72	10.578	159.528	15	25	0,48	0,0151	2,92	9,01	4,64	2.592.082	1.628.334	0	4.440	2.080	1.623.894	6.520
73	361	20.737	57	25	1,03	0,0574	0,89	0,92	4,64	156.771	125.327	0	0	30	125.327	30
74	3.026	43.963	15	35	0,48	0,0145	3,30	7,74	4,64	706.427	456.238	0	24	210	456.214	234
75	2.799	35.425	13	25	0,54	0,0127	3,03	1,73	4,64	708.057	480.203	0	0	220	480.203	220
76	2.390	18.668	8	25	0,40	0,0078	5,82	15,45	4,64	554.208	359.711	0	4.800	380	354.911	5.180
77	7.145	98.544	14	35	0,48	0,0138	4,22	7,08	4,64	1.486.556	909.906	0	420	730	909.486	1.150
78	3.936	96.218	24	25	0,46	0,0244	2,23	2,93	4,64	855.396	579.953	0	336	690	579.617	1.026
79	8.832	81.718	9	25	0,50	0,0093	5,04	8,14	4,64	2.044.651	1.436.339	0	15.252	970	1.421.087	16.222
80	4.989	58.884	12	30	0,65	0,0118	3,91	5,01	4,64	1.378.605	1.046.489	0	87.876	260	958.613	88.136
81	6.437	132.319	21	25	0,48	0,0206	2,17	3,68	4,64	1.422.505	993.892	0	13.344	1.090	980.548	14.434
82	1.311	35.110	27	30	0,39	0,0268	1,83	1,90	4,64	246.683	161.168	0	8.688	70	152.480	8.758
83	5.287	56.349	11	25	0,44	0,0107	4,65	6,99	4,64	1.080.404	736.401	0	33.684	1.280	702.717	34.964
84	3.181	70.993	22	25	0,76	0,0223	2,09	0,59	4,64	968.509	783.752	0	3.660	670	780.092	4.330
85	31.661	549.825	17	40	0,64	0,0174	2,91	1,28	4,64	8.298.084	6.479.830	0	8.316	2.810	6.471.514	11.126
86	1.438	25.304	18	20	1,06	0,0176	1,82	0,54	4,64	583.625	501.583	0	36.000	200	465.583	36.200
87	10.604	154.713	15	25	0,35	0,0146	3,37	4,02	4,64	1.778.005	1.171.936	0	552	3.250	1.171.384	3.802
88	19.319	251.464	13	25	0,34	0,0130	4,46	1,04	4,64	3.131.714	2.078.487	0	0	6.680	2.078.487	6.680
89	7.754	134.001	17	25	0,50	0,0173	2,57	1,86	4,64	1.649.312	1.237.166	0	48	1.300	1.237.118	1.348
90	1.101	11.336	10	25	0,44	0,0103	4,55	0,40	4,64	208.318	151.969	0	0	100	151.969	100
91	11.847	140.254	12	25	0,34	0,0118	3,70	1,33	4,64	1.742.848	1.278.789	0	7.140	2.660	1.271.649	9.800
92	533	25.044	47	25	0,75	0,0470	0,88	0,49	4,64	164.264	143.622	0	0	20	143.622	20

**ANEXO 2 – MAPA COM A DELIMITAÇÃO DOS MANANCIAIS DE CURITIBA E  
REGIÃO METROPOLITANA**



